ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ
ಬೆಂಗಳೂರು

ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ರೂಪರೇಖೆಗಳು

ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್

ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ರೂಪರೇಖೆಗಳು

ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್

ಪ್ರಕಟಣ ಮತ್ತು ಪ್ರಚಾರೋಪನ್ಯಾಸ ವಿಭಾಗ
ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ, ಬೆಂಗಳೂರು

ADHUNIKA BHOUTHA VIGNANADA ROOPAREKHEGALU
by K. Sheshadri Iyengar, Published by the Bangalore University, Bangalore. Pp. 376+viii

Published under the Centrally sponsored scheme of production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare, New Delhi.

ಪ್ರಕಾಶಕರು :
ಕೆ. ಸಿ. ಶಿವಪ್ಪ
ಉಪ-ನಿರ್ದೇಶಕ
ಪ್ರಕಟಣ ಮತ್ತು ಪ್ರಚಾರೋಪನ್ಯಾಸ ವಿಭಾಗ
ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ, ಬೆಂಗಳೂರು 560056

ಬೆಲೆ : ರೂ. 10

ಮುದ್ರಣ :
ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ ಮುದ್ರಣಾಲಯ, ಬೆಂಗಳೂರು 560056

ಮುನ್ನುಡಿ

ಅನೇಕ ವರ್ಷಗಳ ಪರಭಾಷಾ ಪ್ರಭುತ್ವ, ಶಿಕ್ಷಣ ಮಾಧ್ಯಮವಾಗಲು ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಭಾಷೆಯ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ಬಗ್ಗೆ ಇರುವ ಸಂದೇಹ, ಮತ್ತು ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಭಾಷೆಯಲ್ಲಿ ಯೋಗ್ಯ ಗ್ರಂಥಗಳ ಕೊರತೆ – ಇವು ಕನ್ನಡ ನಾಡಿನಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ವಿಚಾರ ವಂತರನ್ನು ದಂಗುಬಡಿಸಿ, ಕನ್ನಡ ಭಾಷೆಗೆ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಶಿಕ್ಷಣ ಮಾಧ್ಯಮ ವಾಗಲು ಅಡ್ಡಿಯನ್ನುಂಟು ಮಾಡಿವೆ. ಸಾವಿರ ವರ್ಷಗಳ ಸಾಂಸ್ಕೃತಿಕ ಮತ್ತು ಸಾಹಿತ್ಯಿಕ ಪರಂಪರೆಯುಳ್ಳ ಕನ್ನಡ ಭಾಷೆಗೆ, ಶಿಕ್ಷಣ ಮತ್ತು ವಿಜ್ಞಾನ ಇತ್ಯಾದಿ ವಿಷಯಗಳ ವೈಚಾರಿಕ ಮಾಧ್ಯಮವಾಗಲು ಶಕ್ತಿ ಇಲ್ಲ ಎನ್ನುವುದು ಅಸಮಂಜಸ ; ಅದನ್ನೀಗ ನಂಬಲೂ ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ.

ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ ಕನ್ನಡವನ್ನು ಶಿಕ್ಷಣ ಮಾಧ್ಯಮವನ್ನಾಗಿ ರೂಢಿಸುವ ಕಾರ್ಯದಲ್ಲಿ, ಕರ್ನಾಟಕದ ಇತರ ಎರಡು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯಗಳಂತೆಯೆ ಶ್ರದ್ಧೆಯಿಂದ ಪಾಲುಗೊಂಡಿದೆ. ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಸಾಧನೆಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸತಕ್ಕವರು, ಇದು ಆರಂಭವಾದದ್ದು 1964-65 ರಲ್ಲಿ ಎಂಬುದನ್ನು ಮರೆಯ ಬಾರದು. 1967 ರಂದು ಉನ್ನತ ಮಟ್ಟದ ಶಿಕ್ಷಣ ಹಾಗೂ ತಿಳಿವು ಕನ್ನಡದಲ್ಲಿಯೆ ದೊರಕುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕೆಂಬ ನಿರ್ಧಾರವನ್ನು ಕೈಕೊಂಡ ಈ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ, ಅದಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಆರಂಭಿಸಿತು. ಸರ್ಕಾರದ ನೆರವಿನಿಂದ ಕನ್ನಡದಲ್ಲಿ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸುವ ಕಾರ್ಯವನ್ನು ಕೈಕೊಂಡು, ಈ ಕೆಲವೇ ವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ, ಈ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ ಗಣನೀಯವಾದ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿ, ಎಲ್ಲರ ಗಮನವನ್ನು ಸೆಳೆದುಕೊಂಡಿದೆ.

ದಿನದಿನಕ್ಕೆ ಮಾನವಿಕ ಮತ್ತು ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಜ್ಞಾನ ಭರದಿಂದ ಬೆಳೆಯುತ್ತಿದೆ. ಪ್ರಗತಿಪರ ಜ್ಞಾನಾರ್ಜನೆಗೆ ಯೋಗ್ಯ ಪುಸ್ತಕಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಿಗೆ ಒದಗಿಸುವ ಸಾಹಸದಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಅಧ್ಯಾಪಕರು ತೊಡಗಿದ್ದಾರೆ. ಅವರ ಶ್ರದ್ಧೆ ಸಹಕಾರಗಳಿಂದ ನಮ್ಮ ಕಾರ್ಯ ಮತ್ತು ಶಿಕ್ಷಣಮಟ್ಟ ಸಾರ್ಥಕ ನಿಲುವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವುದರಲ್ಲಿ ಸಂದೇಹವೇ ಇಲ್ಲ.

ಈ ಕೃತಿಯನ್ನು ರಚಿಸಿ, ಪ್ರಕಟಿಸಲು ಸಹಕರಿಸಿರುವ ಪ್ರೊ. ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್ ಅವರಿಗೂ, ಹಸ್ತಪ್ರತಿಯನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿ ಸೂಕ್ತ ಸಲಹೆಗಳನ್ನಿತ್ತ ಪ್ರೊ. ಕೆ. ಎನ್. ಕುಚೇಲ ಅವರಿಗೂ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯ ಋಣಿಯಾಗಿದೆ.

ಎಚ್. ನರಸಿಂಹಯ್ಯ
ಉಪಕುಲಪತಿ

ಲೇಖಕರ ಮಾತು

ಬೆಂಗಳೂರು ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಆಶ್ರಯದಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧ ಪಟ್ಟಂತೆ ಪ್ರಥಮ ಪದವಿ ತರಗತಿಗಳಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳಿಗೆ ಸಹಾಯಕವಾಗುವಂತೆ ಕೆಲವು ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕಗಳು ಈಗಾಗಲೇ ಪ್ರಕಟವಾಗಿವೆ. ಇದುವರೆವಿಗೂ ಬರೆಯಲಾಗಿರುವ ಪುಸ್ತಕಗಳಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಶಾಖೆಗಳಾದ ಧ್ವನಿ, ಬೆಳಕು, ಉಷ್ಣ ಮುಂತಾದ ವಿಷಯಗಳು ನಿರೂಪಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಈಗ ಆಧುನಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ರೂಪರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತೆ ಈ ಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಬರೆಯಲಾಗಿದೆ.

ಈ ಸಹಾಯಕ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕಗಳ ಮಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಪರೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಬೇಕಾಗುವ ಪಠ್ಯ ವಿಷಯಗಳ ಮೇಲೆ ಪ್ರಧಾನ ಗಮನವನ್ನು ಇಡಲಾಗಿದೆ. ಆದರೂ, ವಿಷಯ ಗ್ರಹಣದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ತ್ವರಿತ ವೇಗದಿಂದ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆ ಗಳ ಪರಿಚಯದ ಅವಶ್ಯಕತೆಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ನಿರೂಪಿತ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಆದಷ್ಟು ಸರಳವಾದ ಶೈಲಿಯಲ್ಲಿ ಬರೆಯಲಾಗಿದೆ. ವಿಜ್ಞಾನದ ಮುನ್ನಡೆಯು ತೀವ್ರಗತಿಯಿಂದ ಸಾಗುತ್ತಿರುವಾಗ, ಪಠ್ಯವಿಷಯಗಳು ಅದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ ನವೀಕೃತವಾಗುವುದು ಎಂದಿಗಿಂತ ಈಗ ಹೆಚ್ಚು ಅವಶ್ಯಕವಾಗಿದೆ. ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಪ್ರಥಮ ಪದವಿಯ ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿಗಳ ವಿಷಯಗ್ರಹಣದ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಏರಿಸುತ್ತಲೇ ಹೋಗಬೇಕು. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಆದಿಭಾಗವು ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ಘಟ್ಟವಾಗಿದೆ; ಅದಕ್ಕೆ ಹಿಂದೆ ಉಂಟಾಗಿದ್ದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಶಾಸ್ತ್ರದ ಹೊರನೋಟವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಕೊಡುತ್ತಿದ್ದಿತು. ಆದರೆ, ಕಳೆದ ಎಪ್ಪತ್ತುವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ನಡೆದಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಮೂಲ ಭೂತ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಾದ ವಸ್ತು ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಅಪಾರವಾದ ಜ್ಞಾನ ವನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿವೆ. ಇವುಗಳ ಮೂಲ ಸ್ವರೂಪದ ದರ್ಶನವಾಗಿದೆ ಎಂದರೆ ತಪ್ಪಾಗ ಲಾರದು. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೇ, ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯನ್ನು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಸ್ಥೂಲವಿವರಣೆಯೇ ಈ ಪುಸ್ತಕದ ಮುಖ್ಯಧ್ಯೇಯ.

ಪುಸ್ತಕದ ಹಲವು ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ವಿಷಯಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯ ವಾಗಿ ಚಾರಿತ್ರಿಕ ಮತ್ತು ತಾರ್ಕಿಕ ಹಿನ್ನೆಲೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ದ್ರವ್ಯದ ರಚನೆ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ರಚನೆ ಮುಂತಾದ ವಿಚಾರಗಳನ್ನು ಸಾಕಷ್ಟು ಆಧಾರ ಅಂಶ

ಗಳಿಂದ ವಿವರಿಸಿದೆ. ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಮಹತ್ವವನ್ನು ಪಡೆದಿರುವ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಮತ್ತು ತರಂಗ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರಗಳ ಸ್ಥೂಲ, ಹಾಗೂ, ಪ್ರಮುಖ ರೂಪರೇಖೆಗಳ ಪರಿಚಯವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಪರಿಶೀಲಿಸ ಲಾಗಿದೆ. ಆ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಕುತೂಹಲವನ್ನು ಕೆರಳಿಸಿ, ಗಹನ ವಿಚಾರಗಳಿಗೆ ಮಾರ್ಗಮಾಡುವ ಪ್ರವೇಶದಂತೆ ಸಹಾಯಕವಾಗುವುದೆಂದು ಆಶಿಸಲಾಗಿದೆ. ಕ್ಲಿಷ್ಟಗಣಿತ ಭಾಗಗಳನ್ನು ವರ್ಜ್ಯಮಾಡಿ, ಅತಿ ಸರಳ ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಸೂಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ, ವಿಜ್ಞಾನದ ಸಮಗ್ರ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಕನ್ನಡದ ಮಾಧ್ಯಮದಲ್ಲಿ ಗಹನ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಬರೆಯುವ ಈ ಪ್ರಥಮ ಪ್ರಯತ್ನಕ್ಕೆ ಸಹಜವಾಗಿರುವ ಅನೇಕ ಲೋಪದೋಷಗಳನ್ನು ಚೆನ್ನಾಗಿ ಅರಿತಿರುವ ಲೇಖಕನು ಸಹೃದಯ ಸಲಹೆಗಳನ್ನು ಸ್ವೀಕರಿಸಲು ಸದಾ ಸಿದ್ಧನಾಗಿದ್ದಾನೆ. ಆಧುನಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯೂ, ಔಪಯೋಗಿಕ ಭಾಗದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯೂ ಹಾಸುಹೊಕ್ಕಾಗಿ ವೃದ್ಧಿಯಾಗಿವೆ. X– ಕಿರಣಗಳು, ರೇಡಿಯೋವಾರ್ತಾವಿನಿಮಯ ಸಂಸ್ಥೆಗಳು, ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು, ರೇಡಿಯೋ ಐಸೋಟೋಪುಗಳು ಮತ್ತು ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ಮತ್ತು ಕಂಪ್ಯೂಟರ್‌ಗಳು ಇಂದಿನ ನಾಗರಿಕತೆಯಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಜನಗಳನ್ನು ತಂದು ಜನಜೀವನವನ್ನು ಸುಖಮಯವಾಗಿಯೂ ಆನಂದ ಮಯವಾಗಿಯೂ ಮಾಡಿವೆ. ಹಾಗೆಯೇ, ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ, ತರಂಗಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ ಮತ್ತು ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವದ ತತ್ತ್ವ ಎಂಬ ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ಮುನ್ನಡೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖ ಮೈಲಿಗಲ್ಲುಗಳು. ಶುದ್ಧ ಮತ್ತು ಔಪಯೋಗಿಕ ವಿಜ್ಞಾನಗಳ ಸಮತೂಕವಾದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯೇ ಮಾನವನ ಪ್ರಗತಿಗೆ ಸಾಧಕವಾಗಿದೆ.

ಈ ಪಠ್ಯಪುಸ್ತಕಗಳ ಮಾಲೆಯನ್ನು ಬರೆದು ವಿದ್ಯಾರ್ಥಿವೃಂದಕ್ಕೆ ಸಹಾಯ ಮಾಡಲು ನನಗೆ ಅವಕಾಶವನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿರುವುದಕ್ಕೆ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಅಧಿಕಾರಿ ಗಳಿಗೆ ನನ್ನ ಕೃತಜ್ಞತೆಯನ್ನು ಸಲ್ಲಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ. ಉತ್ತೇಜನವನ್ನು ಕೊಡುತ್ತಿರುವ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕ ಡಾ॥ ಶಿವರುದ್ರಪ್ಪನವರಿಗೆ ನನ್ನ ಧನ್ಯವಾದಗಳನ್ನು ಅರ್ಪಿಸುತ್ತೇನೆ. ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಶಾಖೆಯ ಮುಖ್ಯಸ್ಥರಾದ ಡಾ॥ ಕುಚೇಲ ಅವರು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಕೊಡುತ್ತಿರುವ ಸಲಹೆಗಳಿಗಾಗಿ ವಂದನಾರ್ಹರು. ಪ್ರಕಟಣ ಶಾಖೆಯ ಉಪನಿರ್ದೇಶಕರಾದ ಶ್ರೀ ಕೆ. ಸಿ. ಶಿವಪ್ಪನವರು ಪುಸ್ತಕವನ್ನು ಬರೆಯಲು ಉತ್ಸಾಹವನ್ನು ತುಂಬಿ ಮೊದಲಿನಿಂದ ಕೊನೆಯುವರೆವಿಗೂ ಕೊಡುತ್ತಿರುವ ವಿಶೇಷ ನೆರವಿಗಾಗಿ ಅವರಿಗೆ ನನ್ನ ವಿಶೇಷವಾದ ಹಾರ್ದಿಕ ವಂದನೆಗಳು.

ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್

ಪ ರಿ ವಿ ಡಿ

ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ವ್ಯಾಪ್ತಿ ಮತ್ತು ಬೆಳವಣಿಗೆ	1
ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನ – ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯ	19
ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ	47
ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆ – ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್	76
ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ	141
ಪರಮಾಣುವಿನ ವರ್ಣಪಟಲದ ರಚನೆ	177
ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ	221
ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜ – ಅದರ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ	245
ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು – ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳು	319
ಘನಸ್ಥಿತಿ ವಿಜ್ಞಾನ	343
ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವದ ತತ್ತ್ವ	361
ಅನುಬಂಧ	369

1. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ವ್ಯಾಪ್ತಿ ಮತ್ತು ಬೆಳವಣಿಗೆ

1.1 ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಸ್ವರೂಪ

ಮಾನವನು ತನಗೆ ಸಹಜವಾದ ಕುತೂಹಲ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ತನ್ನನ್ನು ಆವರಿಸಿರುವ ಭೌತಪ್ರಪಂಚದ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅರಿತು ಅದರ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳನ್ನು ತಿಳಿದುಕೊಳ್ಳಲು ಎಂದುಮನಸ್ಸುಮಾಡಿದನೋ ಅಂದೇ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವು ಉದಯವಾಯಿತೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

ಅತಿ ವಿಶಾಲವಾದ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ, ನಮ್ಮನ್ನು ಆವರಿಸಿರುವ ಸಮಗ್ರ ಭೌತ ಪ್ರಪಂಚದ–ಹಾಗೂ ವಿಶ್ವದ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳೆಲ್ಲವೂ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಗೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತವೆ. ಕಳೆದ ಶತಮಾನದವರೆವಿಗೂ ಇದನ್ನು ಪ್ರಕೃತಿಯ ದರ್ಶನ (natural philosophy) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ, ಈಗ ನಾವು ತಿಳಿಯುವ ವಿಶಿಷ್ಟದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಕೃತಿಯ ಕೆಲವು ಪ್ರಧಾನ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಆರಿಸಿಕೊಂಡು ಅವುಗಳ ಅಧ್ಯಯನವನ್ನು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ವಸ್ತು ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ–ಇವುಗಳ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಲಕ್ಷಣಗಳೇ ನಮಗೆ ಧ್ಯೇಯವಾದ ವಿಷಯಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ನಿರೂಪಣೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೂ ರಸಾಯನಶಾಸ್ತ್ರ, ಭೂಗರ್ಭಶಾಸ್ತ್ರ ಮತ್ತು ಖಗೋಳಶಾಸ್ತ್ರ ಮುಂತಾದ ಶಾಖೆಗಳಿಗೂ ಅತಿ ನಿಕಟವಾದ ಸಂಬಂಧವಿದ್ದೇ ಇರುವುದರಿಂದ ಈ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ ನಡುವಣ ಮೇರೆಗಳು ಅಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿಯೇ ಉಳಿಯುತ್ತವೆ. ಅಂದಮೇಲೆ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವನ್ನು ಒಂದು ಆಧಾರಭೂತವಾದ ವಿಜ್ಞಾನದ ಭಾಗವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ ತಪ್ಪಾಗಲಾರದು. ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ ಹೇಳಿರುವಂತೆ, "ಸತ್ಯದ ಅನ್ವೇಷಣೆಯು ಒಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಕ್ಲಿಷ್ಟವೂ ಹೌದು ಮತ್ತೊಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಸರಳವೂ ಹೌದು. ಯಾರೇ ಆಗಲಿ, ಅದನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಅಧೀನಕ್ಕೆ ಒಳಪಡಿಸುವುದಾಗಲಿ, ಪೂರ್ತಿಯಾಗಿ ತಪ್ಪಿಸುವುದಕ್ಕೆ ಪ್ರಯತ್ನಮಾಡಿದರೆ ಅವನು ವಿಫಲನಾಗುತ್ತಾನೆ. ಸಾವಿರಾರು ಜನರು ತಮ್ಮ ಕೈಲಾದ ಕೊಡುಗೆಯನ್ನು ಜ್ಞಾನಭಂಡಾರಕ್ಕೆ ಸೇರಿಸುತ್ತಲೇ ಇದ್ದರು ಮತ್ತು ಮುಂದೆಯೂ ಹೊಸಹೊಸ ಅಂಶಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತಲೇ ಇರುವುವು. ಇದರಿಂದಲೇ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಮಹತ್ವವೈಭವವು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ." ಹೀಗೆ ಸಂಚಯವಾಗಿರುವ ಜ್ಞಾನವೇ ಇಂದಿನ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರವೆನಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

1.2 ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ನಿಯಮಗಳು

ಪ್ರಕೃತಿಯ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ನಿಯಮಬದ್ಧತೆಯಿದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದಲೇ ವಿಜ್ಞಾನಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಕೆಲವು ಮೂಲಭೂತವಾದ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಸೂತ್ರಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಬಾಹ್ಯದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಭಿನ್ನಭಿನ್ನವಾಗಿರುವ ಹಲವಾರು ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವ ನಿಯಮಗಳು ಕಂಡುಬಂದಿವೆ. ಈ ನಿಯಮಗಳಿಗೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳೇ ಆಧಾರಭೂತವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಕಾಲಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಗುವ ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಅವುಗಳನ್ನು ಕೈಬಿಡುವ ಪ್ರಸಂಗಗಳೂ ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡಬೇಕಾದ ಸಂದರ್ಭಗಳೂ ಒದಗುತ್ತಲೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಶಾಖ, ಬೆಳಕು, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆ ಮುಂತಾದ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಜ್ಞಾನವು ಬೆಳೆಯುತ್ತ ಹೋದಂತೆಲ್ಲ ತತ್ತ್ವಗಳ ನಿರೂಪಣೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಬದಲಾವಣೆಗಳು ಆಗುತ್ತಲೇ ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇದು ಸಹಜವಾದುದೇ.

1.3 ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ಸ್ಥೂಲ ವಿಮರ್ಶೆ

ಈ ಪುಸ್ತಕದ ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯವು ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅದರ ನಿಜವಾದ ಬೆಲೆಯನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ಹಿನ್ನೆಲೆಯಲ್ಲಿರುವ ಬೆಳವಣಿಗೆಯನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕಾದುದು ಸೂಕ್ತವೂ ಅಗತ್ಯವೂ ಆಗಿಯೇ ಇರುತ್ತದೆ. ನಾವು ಈಗ ತಿಳಿದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ವಿಷಯಗಳೆಲ್ಲವೂ 1900ರಿಂದ ಈಚೆಗೆ ನಡೆಸಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟುವೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಹಿಂದಿನ ಹತ್ತಾರು ಶತಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದ ವಿಷಯಗಳ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕಿಂತ ಬಹುಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದೆಯೆಂಬುದನ್ನು ನಾವು ಒಪ್ಪಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಆದರೂ, ಸುಮಾರು 1890 ರಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಹೊಂದಿದ್ದ ಮನೋಭಾವವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಆ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಸಂಗ್ರಹವಾಗಿದ್ದ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಅಲ್ಲಗಳೆಯುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ. ವಸ್ತುವಿನ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳು, ಶಾಖ, ಬೆಳಕು, ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿ ಮುಂತಾದ ಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಮಗ್ರ ದೃಷ್ಟಿಯು ಲಭಿಸಿದ್ದಿತು. ಪರಮಾಣು ಸಿದ್ಧಾಂತವಂತೂ ರಸಾಯನ ಶಾಸ್ತ್ರಕ್ಕೆ ಒಂದು ಹೊಸ ರೂಪವನ್ನೇ ತಂದಿದ್ದಿತು. ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತ, ಸಂಖ್ಯಾವಿಜ್ಞಾನದ ನಿಯಮಗಳು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತ–ಇವುಗಳ ಪ್ರಭಾವವು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದಿತು. ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿ

ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಬೇರೂರಿದ್ದಿತು. ಫ್ಯಾರಡೆಯ ಅತ್ಯದ್ಭುತವಾದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಮಹತ್ತರವಾದ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಉಂಟು ಮಾಡಿದುವು.

ಈ ಎಲ್ಲ ಕಾರಣಗಳಿಂದ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಂತೃಪ್ತ ಮನೋಭಾವವು ಉದ್ಭವಿಸಿ, ಮುಂದೆ ತಿಳಿಯಬೇಕಾದ ಅಂಶಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪವೆಂಬ ಭಾವನೆ ಇದ್ದಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. ಅದೇ ಸಮಯಕ್ಕೆ, ಅಂದರೆ, ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಕೊನೆಯ ಐದು ವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ (1895–1900) ಪ್ರಪಂಚದ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಿಂದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಒಂದರ ಮೇಲೊಂದು ಹೊರಬೀಳುತ್ತಲೇ ಇದ್ದುವು. ಇವುಗಳ ಫಲವಾಗಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಪ್ರಕೃತಿಯು ಒಂದು ಸವಾಲಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶನ ಗೊಳಿಸಿತು. ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಮನೋಭಾವದ ನಿರ್ಮಲ ಆಕಾಶದಲ್ಲಿ ಕಾರ್ಮೋಡಗಳು ತುಂಬಿ ಕೊಂಡಂತಾಯಿತು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್, X-ಕಿರಣಗಳು, ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ, ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ—ಇವುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳು ಕ್ರಾಂತಿ ಕಾರಕವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದುವು. ಹಳೆಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ಕೈಬಿಟ್ಟು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವಗಳ ನಿರೂಪಣೆಯು ಅಗತ್ಯವಾಯಿತು. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಅಭೇದ್ಯ ವೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿದ್ದ ಪರಮಾಣುವನ್ನೇ ಭೇದಿಸಿ ಅದರ ರಚನೆಯನ್ನು ತಿಳಿಯ ಬೇಕಾಗಿ ಬಂದಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಮೂಲರೂಪವೇ ಬದಲಾಗ ಬೇಕಾಯಿತು. ಇದರಿಂದಲೇ 1900 ವರ್ಷವನ್ನು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪರ್ವಕಾಲವೆಂದು ಗಣನೆಮಾಡಿ, ಅದರ ಹಿಂದಿನ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಸಾಂಪ್ರ ದಾಯಿಕವನ್ನಾಗಿಯೂ (classical) ಅಲ್ಲಿಂದೀಚೆಗೆ ನವೀನ ಅಥವಾ ಆಧುನಿಕ ಯುಗವನ್ನಾಗಿಯೂ ಭಾವಿಸುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವು ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತದೆ.

1.4 ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಘಟ್ಟಗಳು

ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಪ್ರಮುಖ ಅವಧಿಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸ ಬಹುದು :

(i) ಪೂರ್ವಕಾಲದಿಂದ ಸುಮಾರು 1550ರ ವರೆಗೆ

ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಗತಿಯು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ. 1550ರಿಂದ ಈಚಿನ ಕಾಲವನ್ನು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಯುಗವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ವಿಜ್ಞಾನದ ಮಾರ್ಗ ಮತ್ತು ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಕೃತಿಯ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಣೆಮಾಡಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಬೇಕು. ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಅಂಶ

ಗಳನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅವುಗಳನ್ನು ಸೂತ್ರಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಣೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯತೆಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕು. ಹಿಂದಿನ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಈ ವಿಧವಾದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಮರ್ಶೆಗೆ ಅವಕಾಶವೇ ಇರಲಿಲ್ಲ. ಬಹಳ ಮೇಧಾವಿಗಳೆಂದು ಹೆಸರುವಾಸಿಯಾದ ಕೆಲವು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಬುದ್ಧಿಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಜನಸಾಮಾನ್ಯರು ಮಾನ್ಯ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದರು. ಪ್ರಯೋಗ ಮತ್ತು ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸುವ ಪ್ರಶ್ನೆಯೇ ಇರುತ್ತಿರಲಿಲ್ಲ. ಪೈಥಾಗರಾಸ್, ಡೆಮಾಕ್ರಿಟಸ್, ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ ಮುಂತಾದ ಗ್ರೀಕ್ ವಿದ್ವಾಂಸರ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳು ಪ್ರಚುರವಾಗಿದ್ದುವು. ಆಗಿನ ಜನರ ಮನೋಭಾವಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಅವರ ವಾದಗಳು ಬೆಲೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದುವು.

(ii) 1550–1800

ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿಯೇ ನಿಜವಾದ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಯುಗವು ಪ್ರಾರಂಭವಾಗಿ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಮಾರ್ಗಕ್ಕೆ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯವು ದೊರಕಿತು. ಈ ಹೊಸ ಕ್ರಾಂತಿಗೆ ಮೂಲ ಪುರುಷ ಗೆಲಿಲಿಯೋ (1564–1642) ಎಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಗಿಲ್‌ಬರ್ಟ್, ಗೆಲಿಲಿಯೋ, ನ್ಯೂಟನ್, ಹಾಯ್‌ಜೆನ್ಸ್, ಬಾಯ್ಲ್ ಮುಂತಾದ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿ ಹಲವಾರು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಲು ಕಾರಣರಾದರು. ವಿಜ್ಞಾನಮಾರ್ಗಕ್ಕೆ ಇದೊಂದು ಪರೀಕ್ಷಾ ಕಾಲವಾಗಿದ್ದಿತು. ನೂರಾರು ವರ್ಷಗಳಿಂದ ಬೇರೂರಿದ್ದ ಮೂಢನಂಬಿಕೆಗಳು ಧರ್ಮದ ಹೆಸರಿನಲ್ಲಿ ಮಠಾಧಿಪತಿಗಳ ಪ್ರತಿಷ್ಠೆ, ಪೂರ್ವಗ್ರಹ ಮನೋಭಾವ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಸಮಾಜದ ನ್ಯೂನತೆಗಳು ಅಳಿಯಲು ಸುಮಾರು ಎರಡು ಶತಮಾನಗಳೇ ಬೇಕಾಯಿತು. ಪೂರ್ವಾಪರ ವಿವೇಚನಾಬುದ್ಧಿ, ನಿಷ್ಪಕ್ಷಪಾತದ ದೃಷ್ಟಿ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಾಧಾನ್ಯತೆ–ಇವುಗಳಿಗೆ ಬೆಲೆಯನ್ನು ಕೊಡಲು ಸುಲಭವಾದ ಕೆಲಸವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಇದು ಒಂದು ಪ್ರಮುಖವಾದ ಅವಧಿಯಾದ್ದರಿಂದ ಈ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸುವ ಅಗತ್ಯವಿದೆ.

(iii) 1800–1895

ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಮಾರ್ಗಕ್ಕೆ ಬೆಲೆಯನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಿದನಂತರ, ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಗಮನೀಯವಾದ ಪ್ರಗತಿಯು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ (classical) ವಿಜ್ಞಾನವೆಂಬ ಹೆಸರನ್ನು ತಾಳಿತು. ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ವಿವಿಧಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಮೂಲಕ ಕೆಲವು ಮೂಲಭೂತ ತತ್ತ್ವಗಳು ಪ್ರತಿಪಾದಿತವಾದುವು. ಶಾಖದ ನಿಜವಾದ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅರಿತು ಅದು ಶಕ್ತಿಯ ಒಂದು ರೂಪ ಎಂಬುದನ್ನು

ಗೊತ್ತುಮಾಡಲಾಯಿತು. ರಂಫರ್ಡ್, ಜೂಲ್ ಮುಂತಾದವರ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಶಾಖದ ಚಲನಸಿದ್ಧಾಂತ (kinetic theory) ವು ರೂಪುಗೊಂಡಿತು. ಯಂಗ್, ಹಾಯ್‌ಜೆನ್ಸ್, ಫ್ರೆನಲ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಬೆಳಕಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ತರಂಗಸಿದ್ಧಾಂತವು ಸ್ಥಾಪಿತವಾಯಿತು. ಫ್ಯಾರಡೆ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟುವು. ಇವುಗಳನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಬ್ಬ ಮೇಧಾವಿಯು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ನಿರೂಪಣೆ ಮಾಡಿದನು. ಇದೇ ಈ ಶತಮಾನದ ಕಲಶಪ್ರಾಯವಾದ ಸಾಧನೆಯೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

ಇವೆಲ್ಲವೂ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾಗಿದ್ದು ಇವುಗಳ ತಳಹದಿಯ ಮೇಲೆಯೇ ಮುಂದಿನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ರೂಪಿತವಾದ್ದರಿಂದ ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಒಂದು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಅಧ್ಯಾಯವನ್ನೇ ಮೀಸಲಾಗಿಡಲಾಗಿದೆ.

(iv) 1895 – 1900

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದ ಈ ಸಣ್ಣ ಅವಧಿಯು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದುದು. ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಬಹಳ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವಾಗಿ ಹಲವಾರು ಪ್ರಮುಖ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಹೊರಬಿದ್ದುವು. ಅತ್ಯಲ್ಪ ಒತ್ತಡದ ಅನಿಲಗಳ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆ (electrical discharge)ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳೇ ಹೊಸಯುಗಕ್ಕೆ ನಾಂದಿಯಾದುವು. ಇವುಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ 'ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್' ಎಂಬ ಕಣವು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು ಅದರ ಜಡಾಂಶ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರ ಜಡಾಂಶವು (m) ಅಭೇದ್ಯವೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿದ್ದ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಸುಮಾರು $\frac{1}{1836}$ ಭಾಗವಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ಹೊಸ ಕಣವು ವಸ್ತುವಿನ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿಯೂ ಅಭೇದ್ಯವೂ ಆದ ಕಣವಾಗಿದ್ದು, ಅದರ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವೂ ಅಭೇದ್ಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಅಂದರೆ, ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ವಸ್ತು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಮಾಣುತ್ವವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದಂತಾಯಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗವು 1895 ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಅದೇ ವರ್ಷದಲ್ಲಿಯೇ, ಜರ್ಮನಿಯ ರಾಂಟ್‌ಜೆನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು X– ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಮುಂದಿನ ವರುಷದಲ್ಲಿ ಬೆಕ್ಕರಲ್ ಎಂಬ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿದ್ವಾಂಸನು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. 1900 ರಲ್ಲಿ ಪ್ಲಾಂಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಸಣ್ಣ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತಾದ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಗ್ರಹಣಮಾಡಿ ಅವುಗಳನ್ನು ವಿಶದವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಿ ಜೀರ್ಣಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ಸುಮಾರು 25 ವರ್ಷಗಳು

ಬೇಕಾಯಿತು. ಇಲ್ಲಿಂದಲೇ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನವು ರೂಪುಗೊಂಡಿತು ಮತ್ತು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರವು ಉದಯವಾಯಿತು.

(v) 1900 – 1925

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ತತ್ತ್ವಗಳ ನಿರೂಪಣೆಯನ್ನು ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಕಾಣುತ್ತೇವೆ. ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಸ್ಥಿರವಾದ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದುವು. ಭೋರ್, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮುಂತಾದ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಶ್ರಮದ ಫಲವಾಗಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯನ್ನು ಕ್ರಮಗೊಡಿಸಲಾಯಿತು. ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಅದರ ಇಡೀ ತೂಕದ ಕಣಗಳು ಅಡಗಿದ್ದು ಅದರ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಧನವಾಗಿರುವುದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಈ ಕೇಂದ್ರದ ಹೊರ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಗೊತ್ತಾದ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಭ್ರಮಣಮಾಡುತ್ತವೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ವರ್ಣಪಟಲಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಅವಶ್ಯಕತೆಯನ್ನು ಭೋರ್ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು. ಪರಮಾಣುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೂ ಗುಣಗಳಿಗೂ ಒಂದು ಹೊಸ ಅರ್ಥವು ಕಲ್ಪಿತವಾಯಿತು. ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು (photo-electric effect) ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಅವಶ್ಯಕತೆಯನ್ನು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಸತ್ವ ಪರೀಕ್ಷೆಯು ಸಿದ್ಧಿಸಿತು. ಫೋಟಾನ್ ಎಂದು ಹೆಸರಾದ ದ್ಯುತಿಕಣದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕು ಇರಬೇಕು ಎಂಬ ವಾದಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆ ಬಂದಿತು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಫೋಟಾನ್‌ಗಳ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯವು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಅಂದರೆ, ಹಿಂದಿನ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಬೇರೂರಿದ್ದ ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಬೆಲೆಯು ಕಡಮೆಯಾಯಿತು. ಆದರೂ ಅದಕ್ಕೆ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಆಧಾರವಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಕೈಬಿಡುವಹಾಗಿಲ್ಲ. ಹೀಗಾಗಿ ಬೆಳಕು ಕಣ ಮತ್ತು ತರಂಗಗಳೆಂಬ ಎರಡು ಭಿನ್ನ ರೂಪಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಎಂಬುದು ಒಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯಾಗಿ ಉಳಿಯಿತು.

(vi) 1925 – 1930

ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ, ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿ ದ್ವಿಮುಖ ವರ್ತನೆಯು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಕೆಲವು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕನ್ನು ತರಂಗದಂತೆಯೇ ಭಾವಿಸಬೇಕಾದುದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗಿತ್ತು. ಆದರೆ, ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣುವಿನ ವರ್ಣಪಟಲ ವಿನ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಸಮಂಜಸವಾಗಿ ಅರ್ಥ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ,

ಬೆಳಕು ಒಂದು ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಣದ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇರಬೇಕೆಂದು ನಿಃಸಂಶಯವಾಗಿ ತಿಳಿಯಬೇಕಾಯಿತು. ಈ ಅಲೆ ಮತ್ತು ಕಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ವಿರೋಧವಾಗಿರು ವಂತೆಯೇ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಅಲೆಯು ಒಂದು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆಯ ಲಕ್ಷಣವನ್ನೂ (continuity) ಕಣವೆಂದರೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣದ ಸಂಚಯವಾಗಿರು ವುದರಿಂದ, ಅದಕ್ಕೆ ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿ ವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಲಕ್ಷಣವನ್ನೇ (discontinuous) ಆರೋಪಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ (classical) ತತ್ತ್ವದಲ್ಲಿ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆಯೇ ಪ್ರಧಾನವಾದುದು. ಹೀಗಾಗಿ ಈ ಎರಡು ತತ್ತ್ವಗಳಿಗೂ ಘರ್ಷಣವಿರುವಂತೆ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶಕಣಗಳೇ ಇರುವುದ ರಿಂದ ಅದರಲ್ಲಿ ವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆಯೇ ಇರಬೇಕು.

ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಹೀಗೆ ಸಂದಿಗ್ಧವಾಗಿರುವಾಗ, ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯ ಪರಿಹಾರಕ್ಕೆ ಆಶಾಕಿರಣಗಳು ಮೂಡಿಬಂದುವು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಆಧಾರಭೂತವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಎಷ್ಟು ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವೋ ಅಷ್ಟೇ ಕ್ರಾಂತಿಕಾರಕವಾಗಿಯೂ ತೋರಿ ಬಂದುವು.

1924 ರಲ್ಲಿ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಲೂಯಿ ಡಿ ಬ್ರೋಲಿ (Louis De Broglie) ಬಹಳ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸಲಹೆಯನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. "ಬೆಳಕು ತನ್ನ ವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ತರಂಗ ಮತ್ತು ಕಣಗಳಂತೆ ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತದೆ. ಪ್ರಾಯಶಃ ಪ್ರಕೃತಿ ಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಮತಾ ಭಾವನೆಯಿದ್ದು, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕೂಡ ಕಣಗಳಂತೆಯೂ, ಅಲೆಗಳಂತೆಯೂ ಏಕೆ ವರ್ತಿಸಕೂಡದು?" ಈ ತರ್ಕವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ ಅವನು 'ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್' ಕಣದ ಆವೇಗಕ್ಕೂ (momentum) ಅದರ ಸಮಾನ ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೂ (wave-length) ಒಂದು ಸಮೀಕರಣವನ್ನೇ ರೂಪಿಸಿದನು.

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad \dots \quad 1.1$$

ಇಲ್ಲಿ mv = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ 'ಕಣದ' ಆವೇಗ; λ = 'ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಲೆಗಳ' ತರಂಗ ದೂರ; h = ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ.

ಇಷ್ಟು ಧೈರ್ಯವಾದ ವಾದವನ್ನು ಮುಂದಿಡಲು ಡಿ ಬ್ರೋಲಿಗೆ ಯಾವ ಅಂತರ್‌ದೃಷ್ಟಿಯಿದ್ದಿತೋ! 1927 ರಲ್ಲಿ ಡೇವಿಸನ್ ಮತ್ತು ಗರ್ಮರ್ ಎಂಬ ಇಬ್ಬರು ಅಮೆರಿಕನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತಾವು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಡಿ ಬ್ರೋಲಿಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ವರದಿ ಮಾಡಿದರು. ಇದರಿಂದ ದ್ರವ್ಯ ವಸ್ತು (matter) ವಿಗೂ ತರಂಗ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಬೇಕಾಗಿ ಬಂದಿತು. ಇದು ಹೊಸ ಕ್ರಾಂತಿಯನ್ನೇ ಎಬ್ಬಿಸಿತು. ಏಕೆಕ್ಕೆಂದರೆ, 'ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್' ಒಂದು ಕಣ

ಮತ್ತು ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಜಡಾಂಶ (mass) ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶ (charge) ಎಂದು ತಿಳಿದು ಅದು ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಿತು. ಈಗ ಅದನ್ನು ಒಂದು ಅಲೆಗಳ ಗುಂಪೆಂದು ಭಾವಿಸ ಬೇಕಾದರೆ ನಮ್ಮ ಮನಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ರಚಿಸಬೇಕಾದ ಚಿತ್ರದ ಆಕೃತಿಯೇ ಕ್ಲಿಷ್ಟ ವಾಗುತ್ತದೆ.

ಕಣ ಮತ್ತು ಅಲೆಗಳೆಂಬ ಎರಡು ಮುಖಗಳ ವರ್ತನೆಯು ಬೆಳಕಿನಲ್ಲಿಯೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದಲ್ಲಿಯೂ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕಾಯಿತು. ಇವುಗಳ ಸಮನ್ವಯ ಮಾಡಲು, ಶ್ರೋಡಿಂಗರ್ (Schrodinger) ಮತ್ತು ಹೈಸನ್-ಬರ್ಗ್ (Heisen-berg) ಎಂಬ ಇಬ್ಬರು ಮೇಧಾವಿಗಳಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಒಂದು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದರು. ಇದನ್ನು ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಅಥವಾ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರ (Quantum mechanics) ಎಂದು ಕರೆಯ ಲಾಗಿದೆ. ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ನವೀನ ಶಾಖೆಯನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡ ಬೇಕಾಯಿತು. ಈ ತತ್ತ್ವವು ಬಹಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾಗಿದ್ದರೂ ಅದರಿಂದ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಪರಿಣಾಮವುಂಟಾಯಿತು. ಇದೇನೆಂದರೆ, ಕಣ ಮತ್ತು ಅಲೆಗಳ ರೂಪಗಳು ಪರಸ್ಪರ ವಿರುದ್ಧ ಭಾವನೆಗಳಲ್ಲ, ಅವುಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಒಂದು ಸಮರಸ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸುವುದು ಸಾಧ್ಯವೆಂದು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟರು. ಇದರ ಪ್ರಯೋಗ ದಿಂದ, ಹಲವಾರು ಸಮಸ್ಯೆಗಳು ಪರಿಹಾರವಾದುವು. ಒಂದು ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿ ಕೋನವೇ ಏರ್ಪಟ್ಟಂತಾಯಿತು. ಇದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ಮತ್ತೊಂದು ವಿಸ್ಮಯಕರವಾದ ವಿಷಯವು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಇದೇ ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಅನಿಶ್ಚಿಯತೆ (Principle of Uncertainty). ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದು ಕಣದ ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನದಲ್ಲಿಯೂ ಅದರ ವೇಗದ ನಿರ್ದೇಶನ ದಲ್ಲಿಯೂ, ಒಂದು ಅನಿಶ್ಚಿಯ ತತ್ವ (uncertainty) ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತದೆ. 'p' ಎಂಬುದು ಕಣದ ಆವೇಗವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ಪ್ರಮಾಣ ನಿರ್ದೇಶನದಲ್ಲಿ 'Δp' ಅನಿಶ್ಚಿತ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿಯೂ, 'x' ಎಂಬ ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನದ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ 'Δx' ಎಂಬುದು ಅನಿಶ್ಚಿತ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ,

$$\Delta p \cdot \Delta x = h \qquad \ldots \quad 1{\cdot}2$$

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಪಂಚವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿಯೂ ಬಹಳ ಮಹತ್ವಪೂರಿತವಾದುದು. ಏಕೆಂದರೆ, ಪರಸ್ಪರ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದಿರುವಂತೆ ತೋರಿಬಂದಿದ್ದ ಅಲೆ–ಕಣಗಳ ಸಮಸ್ಯೆಯು ಸಮನ್ವಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪರಿಹಾರವಾಯಿತು. ಒಂದು ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿ-ಕೋನವೇ ಉತ್ಪನ್ನವಾಯಿತು.

(vii) 1930 – 1970

1930 ರಿಂದ ಈಚೆಗೆ ನಡೆದಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳೆಲ್ಲವೂ ಪರಮಾಣು ವಿನ ಬೀಜದ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟುವು. ಶೂನ್ಯವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಕಣವು 1932 ರಲ್ಲಿ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ (Chadwick) ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಮಾಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಇದೂ ಒಂದು ಮಹತ್ತರವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಫಲ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಕಣಗಳು ಎರಡು ಬಗೆಯವು. ಅಂದರೆ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಶೂನ್ಯವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್.

ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಕೃತಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆ (artificial transmutation) ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಪ್ರಮುಖ ವಾದುವು. ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಬೃಹತ್ ಪ್ರಮಾಣದ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡುವ ಕುಶಲತೆಯಲ್ಲಿ ಅಸಾಧಾರಣವಾದ ಪ್ರಗತಿಯುಂಟಾಯಿತು.

ರೇಡಿಯಂ ಮುಂತಾದ ಕೆಲವು ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜ ಗಳು ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತ ಆಸ್ಫೋಟನೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳಿಂದ a, β ಮತ್ತು γ ಎಂಬ ಮೂರು ವಿಧವಾದ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದು ಹಿಂದಿನ ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿಯೇ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದಿತು. ಆದರೆ ಈಗ ಹೊಸ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಯಾವ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಲಿ ಕೃತಕವಾಗಿ ಪ್ರೇರೇಪಿಸಿ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿ (artificial radio-activity) ಯನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡುವುದು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಇದೂ ಬಹಳ ಕ್ರಾಂತಿಕಾರಕ ಘಟನೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಬಂಧನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಅದರ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವನ್ನು ಹೊರದೂಡುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿವೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ತತ್ತ್ವವೆಂದರೆ ವಸ್ತುವಿನ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ದ್ರವ್ಯವು ಶಕ್ತಿಯ ರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತಿತವಾಗುವುದು. ದ್ರವ್ಯನಾಶ ದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು 1905 ರಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟಿದ್ದನು. ಇದರ ರೂಪವು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ.

$$E = Mc^2 \qquad \ldots \quad 1{\cdot}3$$

ಇಲ್ಲಿ M ಎಂಬ ತೂಕದ ದ್ರವ್ಯನಾಶದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯು E ಆಗಿದ್ದು c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

$m = 1$ ಗ್ರಾಂ ಆದರೆ ; $c = 3 \times 10^{10}$ ಸೆಂ. ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್

$E = 9 \times 10^{20}$ ಎರ್ಗ್ $= 9 \times 10^{13}$ ಜೂಲ್‌ಗಳು.

ಈ ಸಮೀಕರಣದ ಸಮರ್ಥನೆಯು 1939ರಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಬಂದಿತು. ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಮಂದವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದರೆ, $92u^{235}$ ಸಮಸ್ಥಾನಿ ಬೀಜವು ಬಿರಿದು (fission) ಎರಡು ಸಮಾನ ತೂಕದ ಪರಮಾಣುಗಳಾದ ಬೇರಿಯಂ ಮತ್ತು ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್‌ಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅಪಾರವಾದ ವೇಗದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ಇವುಗಳ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ 1–2 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಅತಿವೇಗದಿಂದ ಹೊರದೂಡಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಈ ವಿದಲನ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗದ ದ್ರವ್ಯದ ನಾಶವಾಗಿ ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಅಪಾರ ಪ್ರಮಾಣದ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಶಕ್ತಿ (reaction energy) ಯು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಕಳೆದ ಘೋರ ಯುದ್ಧದ ಅಂತ್ಯದಲ್ಲಿ 1945 ರಲ್ಲಿ ಜಪಾನ್ ದೇಶದ ಎರಡು ಪಟ್ಟಣಗಳ ಮೇಲೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬುಗಳನ್ನು ಆಸ್ಫೋಟನೆಮಾಡಿದ ಫಲವಾಗಿ ಆ ಪಟ್ಟಣಗಳು ನಿರ್ನಾಮವಾದುವು. ಅದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಯುದ್ಧವೂ ಅಂತ್ಯವಾಯಿತು ಎಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಈಚಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿದಲನದ ವಿಧಾನದಿಂದ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಶಾಂತಿಯುತ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಬಳಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಸಾಧನವಾಗಿ ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (reactors) ಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸುವುದು ಒಂದು ನವೀನ ವಿಧಾನವಾಗಿದೆ. ಜೀವನದ ನಾನಾ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಲಾಭದಾಯಕ ಉಪಯೋಗಗಳು ಉಂಟಾಗಿವೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಲು ಸಂಯೋಜನೆ (fusion) ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ವಿಧಾನವೂ ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಇದೇ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಕಾರಣ (H - bomb) ವಾಗುತ್ತದೆ.

ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಸ್ಮಿಕ್ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಿವೆ. ಇವುಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಮೀಸಾನ್ಸ್ (mesons) ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಜಾತಿಯ ಮಧ್ಯಕಣಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ತೂಕವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ತೂಕಗಳ ನಡುವೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಹಲವಾರು ವಿಚಿತ್ರರೀತಿಯ ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಇವುಗಳ ವಿಷಯವಾಗಿ ಇನ್ನೂ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಲೇ ಇವೆ.

ಇದು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಇಂದಿನವರೆವಿಗೂ ನಡೆದಿರುವ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ಅತಿಸ್ಥೂಲ ರೂಪರೇಖೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ.

ಈ ಪುಸ್ತಕದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಲಾಗುವ ವಿಜ್ಞಾನದ ಭಾಗವು ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿರುವುದರಿಂದ ಅದಕ್ಕೆ ಪೂರ್ವಭಾವಿಯಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿದ್ದ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯನ್ನು ವಿಶದಪಡಿಸುವುದು ಅವಶ್ಯಕ.

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಪ್ರಗತಿಯನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಲಾಗುವುದು. ಈಗ ಅದಕ್ಕೆ ಹಿಂದಿನ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದ ವಿಷಯಗಳ ಸ್ಥೂಲಪರಿಚಯವನ್ನು ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

1.5 ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಾಚೀನ ಕಾಲದ ಬೆಳವಣಿಗೆ

ಮೇಲೆಯೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಇದು 155° ರವರೆಗೆ ಇರುವ ಕಾಲಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿದ್ದು. ವಿಜ್ಞಾನ ಮಾರ್ಗದ ಪ್ರಾಬಲ್ಯವು ಗೊತ್ತಾಗುವುದಕ್ಕಿಂತ ಮುಂಚಿನ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಜ್ಞಾನದ ಮಟ್ಟವು ಯಾವರೀತಿಯಾಗಿದ್ದಿತೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು.

ಗ್ರೀಕರು ಹಿಂದಿನ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಗಣಿತ ಶಾಸ್ತ್ರ, ಸಾಹಿತ್ಯ, ಕಲೆ ಮತ್ತು ದರ್ಶನ ವಿಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ತಮ್ಮ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಬೀರಿದ್ದರು. ಆದರೆ, ಪ್ರಕೃತಿ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಅವರ ಶೋಧನೆಗಳು ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದುವು. 1400ರವರೆಗೆ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಬಹುಭಾಗದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಗ್ರೀಕರಿಂದ ಉಂಟಾಯಿತೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಅವರ ಲೇಖನಗಳಲ್ಲಿ, ದ್ರವ್ಯದ ನಿತ್ಯತ್ವ, ಜಡತ್ವ. ಪರಮಾಣುವಾದ, ಬೆಳಕಿನವೇಗ ಮುಂತಾದ ಭಾವನೆಗಳು ಕಂಡುಬರುತ್ತವೆ.

ಥೇಲ್ಸ್ ಎಂಬುವನು (ಕ್ರಿ.ಪೂ. 624-547) ಅಯಸ್ಕಾಂತಗಳ ಆಕರ್ಷಕ ಶಕ್ತಿಯ ವಿಚಾರವನ್ನೂ ಹವಳದ ಉಜ್ಜುವಿಕೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಪ್ರಸ್ತಾಪ ಮಾಡಿದ್ದಾನೆ.

ಪೈಥಾಗರಾಸ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ ದರ್ಶನದಲ್ಲಿ ದೊಡ್ಡಸ್ಥಾನವಿದೆ. ಆತನು ಭೂಮಿ ಗೋಲಾಕಾರವಾಗಿದೆಯೆಂದು ವಾದಿಸಿದನು.

ಅನೆಕ್ಸಗರಸ್ ಮತ್ತು ಡೆಮಾಕ್ರಿಟಸ್ ಎಂಬುವರು ವಸ್ತುವಿಗೆ ಪರಮಾಣು ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದರು.

'ಎಂಪೆಡಾಕ್ಲಿಸ್ ತತ್ವ'ದ ಪ್ರಕಾರ ನಾಲ್ಕು ಭೂತಗಳು ಇವೆ. ಇವು ಭೂಮಿ, ನೀರು, ವಾಯು ಮತ್ತು ಅಗ್ನಿ. ಇವುಗಳ ಸಂಯೋಜನೆಗಳಿಂದಲೂ ಪ್ರಪಂಚವು ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಈತನು ಬೆಳಕಿಗೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟವೇಗವಿರುವುದಾಗಿ ತಿಳಿಸಿದನು. ಆದರೆ, ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ ಇದನ್ನು ಒಪ್ಪಲಿಲ್ಲ.

ಈ ಕಾಲದ ಅತ್ಯಂತ ಮೇಧಾವಿಯೆಂದರೆ ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ (384-322) ತರ್ಕ, ಮನಃಶಾಸ್ತ್ರ, ದರ್ಶನ, ಪ್ರಕೃತಿ ವಿಜ್ಞಾನ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಜ್ಞಾನವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶನ ಮಾಡಿದನು. ಇವನ ಪ್ರತಿಭೆಯ ಪ್ರಭಾವವು ಎಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದಿತು ಎಂದರೆ, ಅವನ ತತ್ತ್ವಗಳಿಗೆ ಹಲವಾರು ಶತಮಾನಗಳವರೆವಿಗೆ ಮನ್ನಣೆಯಿದ್ದಿತು. ಆತನ ಲೇಖನಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಿದರೆ, ವಾಸ್ತವಾಂಶ (facts) ಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಧಾನ್ಯತೆಯನ್ನು ಕಂಡಿದ್ದುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಅವನು ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಮೊದಲನೆಯದು ಮೇಲಿಂದ ಕೆಳಕ್ಕೆ ಬೀಳುವ ಪದಾರ್ಥಗಳ ವಿಷಯ. ಅವನು ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ಅರಿತಿದ್ದಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳು ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸಿ ಭೂಮಿಯನ್ನು ತಲಪುತ್ತವೆಂಬುದು ಅವನ ವಾದ. ಎರಡನೆಯದು ಭೂಮಿ, ಸೂರ್ಯ ಮತ್ತು ಗ್ರಹಗಳ ಚಲನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ಅವನ ಪ್ರಕಾರ "ಭೂಮಿಯು ನಿಶ್ಚಲ. ಮತ್ತು ಅದು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯ, ಗ್ರಹಗಳು ಮತ್ತು ನಕ್ಷತ್ರಗಳು ಭೂಮಿಯನ್ನು ಕೇಂದ್ರವಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಗೋಲಾಕೃತಿಗಳಲ್ಲಿ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುತ್ತವೆ". ಈ ವಾದವು ಹಲವಾರು ಶತಮಾನಗಳವರೆವಿಗೂ ಹಬ್ಬಿ, ಜನರ ಮನಸ್ಸನ್ನು ಆಕರ್ಷಿಸಿದ್ದಿತು. ಅದರ ಮುಂದೆ ಯಾವ ವಿರೋಧ ಭಾವನೆಯೂ ತಲೆ ಎತ್ತುವಂತಿರಲಿಲ್ಲ.

ಆರ್ಕಿಮಿಡಿಸ್ (ಕ್ರಿ.ಪೂ. 287-212) ಮತ್ತೊಬ್ಬ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿದ್ವಾಂಸ. ಇವನ ಹೆಸರಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿರುವ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದು ಪದಾರ್ಥವನ್ನು ದ್ರವದ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ತೂಗಿದಾಗ ಅದರ ತೋರಿಕೆಯ ತೂಕವು ನಿಜತೂಕಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿರುವಂತೆ ಕಂಡು ಬರುತ್ತದೆ—ದ್ರವಸ್ಥಾಯೀಬಲಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ (Hydrostatics) ಅವನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮಹತ್ವವಾದುವು.

ಆರ್ಕಿಮಿಡಿಸ್‌ನಂತರ ಸುಮಾರು 17 ಶತಮಾನಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ವಿಚಾರಶೂನ್ಯವಾದ ಕಾಲವೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಪ್ರಗತಿಯು ಸ್ತಬ್ಧವಾಗಿತ್ತೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಒಂದು ಮುಖ್ಯವಾದ ಘಟನೆ ಎಂದರೆ ರಾಜರ್ ಬೇಕನ್ (1214-1294) ಎಂಬ ಬ್ರಿಟಿಷ್ ವಿದ್ವಾಂಸನು ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ (Observations) ಪ್ರಕೃತಿಯ ಮರ್ಮಗಳನ್ನು ಅರಿಯುವುದರಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದನು.

ಇದಾದನಂತರ ಲೆನಾರ್ಡೋ ಡಿ ವಿಂಚಿ (1452-1519) ಎಂಬ ಇಟಲಿದೇಶದ ವಿದ್ವಾಂಸನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಕೆಲವು ಭಾವನೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಬಹುದು. ಈತನೂ

ಕೂಡ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಮುಖ ಪಾತ್ರವನ್ನು ಸಾರಿದ್ದಾನೆ. ಅವನ ಲೇಖನಗಳಲ್ಲಿ, ಬಲ, ಜಡತ್ವ, ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷ, ಚಲನೆಯ ನಿಯಮಗಳ ವಿಷಯಗಳು ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಟಾಲಿಮಿ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ತ್ಯಜಿಸಿ, "ಸೂರ್ಯನು ಚಲಿಸುವುದಿಲ್ಲ" ಎಂದು ನಂಬಿದ್ದನು.

ಈ ಅವಧಿಯ ಅಂತ್ಯದಲ್ಲಿ 16 ನೆಯ ಶತಮಾನವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದರೆ, ಒಂದು ನವೋದಯವು (renaissance) ಕಂಡು ಬರುತ್ತದೆ. ಕೊಪರ್ನಿಕಸ್, ಟೈಕೋ, ಕೆಪ್ಲರ್, ಗೆಲಿಲಿಯೋ, ನ್ಯೂಟನ್ ಎಂಬ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಪುರುಷರು ಒಂದು ಹೊಸ ಕ್ರಾಂತಿಯನ್ನು ಎಬ್ಬಿಸುವುದರ ಫಲವಾಗಿ, ನವಚೈತನ್ಯವೇ ಉತ್ಪನ್ನವಾಯಿತು. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಹಬ್ಬಿದ್ದ ಮೋಹವು ಭೇದಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಭಾವವು ಆರಂಭವಾಯಿತು. ಕೊಪರ್ನಿಕಸ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಸೂರ್ಯ ಕೇಂದ್ರತ್ವ (heliocentric) ದ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಹೊಸ ಯುಗದ ನಾಂದಿಯಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ, ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಾಚೀನ ಯುಗವು ಅಂತ್ಯಗೊಂಡಿತೆಂದು ಹೇಳಬಹುದು.

ಸೂರ್ಯನು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿದ್ದುಕೊಂಡು ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಭೂಮಿ ಮತ್ತು ಇತರ ಗ್ರಹಗಳು ಸುತ್ತುತ್ತವೆ ಎಂಬ ಕೋಪರ್ನಿಕಸ್‌ನ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಸತ್ಯಕ್ಕೆ ಇರುವ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ತೋರಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಸುಮಾರು 2000 ವರ್ಷಗಳಕಾಲ ಜೀವಂತವಾಗಿದ್ದ ಅಧಿಕಾರ ವಾಣಿ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿಷ್ಠೆಗಳಿಗೆ ಇದ್ದ ಗೌರವವನ್ನು ನಾಶ ಮಾಡಿತು.

1.6 ಮಧ್ಯಯುಗ (1550–1800)

ಈ ಅವಧಿಯ ಮೊದಲು ಭಾಗವಾದ ಒಂದು ಶತಮಾನಕಾಲದಲ್ಲಿ ನವೀನ ವಿಜ್ಞಾನ ಮಾರ್ಗವು ಬಹಳ ವಿರೋಧವನ್ನು ಎದುರಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಗುರುತರವಾದ ಹೊಣೆಗಾರಿಕೆಯು ಗೆಲಿಲಿಯೋ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದಿತು. ಗೆಲಿಲಿಯೋ (1564-1642) ಇಟಲಿ ದೇಶದಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡುತ್ತಿದ್ದ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಇವನನ್ನು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಪಿತನೆಂದು ಕರೆಯುವುದು ಸೂಕ್ತವಾಗಿದೆ. ವೈದ್ಯವೃತ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಶಿಕ್ಷಣವನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಇವನನ್ನು 17 ನೆಯ ವಯಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಪೈಸಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಕ್ಕೆ ಕಳುಹಿಸಲಾಯಿತು. ಅಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಸಂಗ ಮಾಡುತ್ತಿರುವಾಗಲೇ ಈ ಯುವಕನ ಮನವು ಕ್ರಿಸ್ತದೇವಾಲಯದಲ್ಲಿ ನೇತುಹಾಕಿದ್ದ ಒಂದು ಉದ್ದವಾದ ತೂಗು ದೀಪದ ಆಂದೋಲನಗಳ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳ ಕಡೆಗೆ ಆಕರ್ಷಿತವಾಯಿತು. ಕಂಪನ ವೈಶಾಲ್ಯವು ಹೆಚ್ಚುಕಡಮೆಯಾದಾಗ್ಯೂ ಆಂದೋಲನಗಳು ಒಂದೇ ಆವರ್ತಕಾಲ (period) ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು. ಗಣಿತ

ಶಾಸ್ತ್ರ ಮತ್ತು ವಿಜ್ಞಾನದ ಕಡೆಗೆ ಅವನ ದೃಷ್ಟಿಯು ವಾಲಿತು. ವೈದ್ಯಕೀಯ ಶಿಕ್ಷಣವನ್ನು ಕೈ ಬಿಟ್ಟನು. ಪೈಸಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾದನು, ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ್ದ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದನು. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. "ಒಂದೇ ಎತ್ತರದಿಂದ ಇಳಿಬಿಟ್ಟ ಪದಾರ್ಥಗಳ ತೂಕಗಳು ಏನೇ ಇರಲಿ, ಅವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಭೂಮಿಯನ್ನು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ವೇಗದಿಂದ ತಲಪುತ್ತವೆ." ಹಲವಾರು ಶತಮಾನಗಳಿಂದ ಮನ್ನಣೆ ಪಡೆದು ಜನತೆಯ ನಂಬಿಕೆಗೆ ಪಾತ್ರವಾಗಿದ್ದ ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಇದು ನೇರವಾಗಿ ವಿರೋಧವಾಗಿದ್ದಿತು. ಅದರ ಪ್ರಕಾರ, ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ, ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳು ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದ ಭೂಮಿಯನ್ನು ತಲಪಬೇಕಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ಸಂದಿಗ್ಧ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಅರಿಸ್ಟಾಟಲ್ ವಚನಗಳ ಗೌರವಕ್ಕೂ, ಮಠಾಧಿಪತಿಗಳ ಅಧಿಕಾರಕ್ಕೂ ಮಾರಿಹೋಗಿದ್ದ ಜನರು ಗೆಲಿಲಿಯೋ ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ಒಪ್ಪಲಿಲ್ಲ. ಅವರ ಅಸಹನೆಯು ಎಷ್ಟು ದೂರ ಹೋಯಿತೆಂದರೆ, ಗೆಲಿಲಿಯೋ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು, ಸತ್ಯ ಪ್ರತಿಪಾದನೆಗಾಗಿ, ಮಠಾಧಿಪತಿಗಳ ಕೋಪಕ್ಕೆ ಪಾತ್ರನಾಗಿ ಉಗ್ರ ಶಿಕ್ಷೆಯನ್ನು ಅನುಭವಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವನ್ನು ಪ್ರಚುರ ಪಡಿಸದೆ ವಾಪಸು ಪಡೆಯುವಂತೆ ಮಾಡಿದರು. ಸತ್ಯಾನ್ವೇಷಣೆಯಲ್ಲಿ ತೊಡಗಿ, ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟನೆ ಪಡಿಸುವ ಸ್ವಾತಂತ್ರ್ಯವನ್ನು ಕೂಡ, ಅಗಿನ ಕಾಲದ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ವಿರೋಧದಿಂದ, ಹೊಂದಿರಲು ಗೆಲಿಲಿಯೋಗೆ ಅವಕಾಶವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಆತನು ಹಲವಾರು ಕಷ್ಟಗಳನ್ನು ಅನುಭವಿಸಿದರೂ, ತನ್ನ ಗುರಿಯನ್ನು ಮಾತ್ರ ಕೈಬಿಡದೆ, ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಹಲವಾರು ಗ್ರಂಥಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಗೆಡಹಿದನು.

ಯವಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಒಂದು ದೂರದರ್ಶಕವನ್ನು ರಚಿಸಿ ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ಚಂದ್ರ, ಶನಿ ಮತ್ತು ಇತರ ಗ್ರಹಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿ ಅವುಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟ ಕೀರ್ತಿಯು ಗೆಲಿಲಿಯೋಗೆ ಸಲ್ಲತಕ್ಕದ್ದು. ಆಕಾಶಕಾಯಗಳನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ಗಾತ್ರವರ್ಧನದಿಂದ ವೀಕ್ಷಿಸಿ, ಖಗೋಳ ಶಾಸ್ತ್ರದ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಮೂಲ ಪುರುಷನಾದನು. ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ ಗಣಿತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ಖಗೋಲ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ ಅವನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮಹತ್ವಪೂರಿತವಾದುವು. ತನ್ನ ಜೀವಮಾನದಲ್ಲಿ ಜನರ ವಿರೋಧವನ್ನು ಎದುರಿಸಿ ತನ್ನ ಪ್ರತಿಭೆಗೆ ತಕ್ಕಮನ್ನಣೆಯನ್ನು ಪಡೆಯದೇ ಹೋದರೂ, ಗೆಲಿಲಿಯೋ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಪ್ರಥಮಸ್ಥಾನವು ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಅಮರವಾಗಿ ಉಳಿದಿದೆ.

ಇದೇ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಟೈಕೋಬ್ರಾಹೆ (1546–1601) ಮತ್ತು ಕೆಪ್ಲರ್ (1571-1630) ಎಂಬ ಇಬ್ಬರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಕೊಡುಗೆಯೂ ಗಮನಾರ್ಹ

ವಾದುದು. ಟೈಕೋಬ್ರಾಹೆಯು ಸುಮಾರು 20 ವರ್ಷಗಳಕಾಲ ಡೆನ್ಮಾರ್ಕಿನ ಒಂದು ನಕ್ಷತ್ರ ಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ನಡೆಸಿದ ನಿರಂತರ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಗ್ರಹಗಳು ಮತ್ತು ನಕ್ಷತ್ರಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸ್ಥಾನ, ಚಲನವಲನಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸತಕ್ಕ ಅತಿವ್ಯಾಪಕ ವಾದ ವಾಸ್ತವಾಂಶಗಳನ್ನು ಕ್ರೋಢೀಕರಿಸಿ ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಇವುಗಳನ್ನೇ ಆಧಾರ ವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಅವನ ಶಿಷ್ಯರ ಗುಂಪಿನಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಮೇಧಾವಿಯೆನಿಸಿಕೊಂಡಿದ್ದ ಕೆಪ್ಲರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕೆಲಸವನ್ನು ಮುಂದುವರೆಸಿ ಹೆಚ್ಚು ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ ದನು. ಇವುಗಳನ್ನು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಿ, ಕೆಪ್ಲರ್ ಗ್ರಹಗಳ ಚಲನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮೂರು ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಇವು ಇಂದಿಗೂ ಅವನ ಹೆಸರಿನಿಂದ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿವೆ. ಈ ಸೂತ್ರಗಳ ಪ್ರಕಾರ :

(1) ಸೂರ್ಯನ ಸುತ್ತಲೂ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುವ ಗ್ರಹಗಳ ಪಥಗಳು ಅಂಡಾ ಕೃತಿಗಳು (ದೀರ್ಘವೃತ್ತಗಳು).

(2) ಗ್ರಹಗಳು ಸುತ್ತುವಾಗ, ಸೂರ್ಯನನ್ನೂ ಗ್ರಹವನ್ನೂ ಬಂಧಿಸುವ ತ್ರಿಜ್ಯವು ಸಮಕಾಲಾವಧಿಗಳಲ್ಲಿ ಸಮಕ್ಷೇತ್ರಫಲಗಳನ್ನು ಆವರಿಸುತ್ತದೆ.

(3) ಗ್ರಹಗಳ ಆವರ್ತಕಾಲಗಳ ವರ್ಗಗಳಿಗೂ, ಅವುಗಳ ಪಥಗಳ ಘನಗಳಿಗೂ ನೇರವಾದ (ಅನುಲೋಮ) ಸಂಬಂಧವಿದೆ. ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ಸಂಗತಿ ಯೇನೆಂದರೆ, ಕೆಪ್ಲರ್ ಮಾಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಸೂರ್ಯಕೇಂದ್ರತ್ವ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಸ್ಥಾಪಿತವಾಯಿತು. ಆದರೆ ಇದಕ್ಕೆ ಆಧಾರಭೂತವಾದ ವಾಸ್ತವಾಂಶಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿದ್ದ ಟೈಕೋಬ್ರಾಹೆಯು ಭೂ ಕೇಂದ್ರತ್ವ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ನಂಬಿಕೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದನು!

ಈ ತ್ರಿಮೂರ್ತಿಗಳನಂತರ, ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಗೌರವ ಕ್ರಮೇಣ ಹೆಚ್ಚುತ್ತಹೋಯಿತು. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ, ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನಲ್ಲಿ 1662ರಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾದ 'ರಾಯಲ್ ಸೊಸೈಟಿ' ಸ್ಥಾಪಿತವಾಯಿತು. ಇದರಂತೆಯೇ ಇಟಲಿ ಮತ್ತು ಫ್ರಾನ್ಸ್ ನಲ್ಲಿಯೂ ವಿಜ್ಞಾನ ಪರಿಷತ್ತುಗಳು ಜನ್ಮತಾಳಿದುವು. ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಗತಿಗೆ ಮಾರ್ಗವು ಕಲ್ಪಿತವಾಯಿತು.

1600 ರಲ್ಲಿ ಗಿಲ್ಬರ್ಟ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 'ಕಾಂತತ್ವ'ಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಹೊಸ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದನು. ಭೂಮಿಯೇ ಒಂದು ಬೃಹತ್ ಗೋಲಾಕಾರದ ಕಾಂತವೆಂದು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು. ಬೆಳಕು ಮತ್ತು ಶಬ್ದಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಶಾಖೆ ಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಹೊಸ ವಿಷಯಗಳು ಪ್ರಚುರವಾದುವು. 'ಟಾರಿಸಿಲೀ'ಯು ದ್ರವ ಚಲನೆಯ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಮುಖ ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದನು.

ಈಗ ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಅತ್ಯುಚ್ಚಸ್ಥಾನವನ್ನು ಹೊಂದಿ ತಿಲಕ ಪ್ರಾಯನಾದಂಥ ನ್ಯೂಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ತನ್ನ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಪ್ರತಿಭೆಯಿಂದ ಶಾಶ್ವತ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಂಡಿದ್ದಾನೆ. ಇವನು ತನ್ನ (1642 - 1727) ಎಂಬತ್ತೈದು ವರ್ಷಗಳ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಸಾಧಿಸಿದ ಕೆಲಸವು ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟದ್ದು. ಕೇಂಬ್ರಿಜ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ 30 ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕ ಪೀಠವನ್ನು ಅಲಂಕರಿಸಿದನು. ನಂತರ ಹಲವಾರು ಅಧಿಕಾರ ಸ್ಥಾನಗಳು ಲಭಿಸಿದುವು. ರಾಯಲ್ ಸೊಸೈಟಿಯ ಅಧ್ಯಕ್ಷನಾಗಿ ತನ್ನ ಅಂತ್ಯಕಾಲದವರೆಗೂ ಸೇವೆ ಸಲ್ಲಿಸಿದನು. ಇವನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಮಹತ್ವವನ್ನು ತಿಳಿಸಲು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಗ್ರಂಥವೇ ಬೇಕಾದೀತು. ಕೆಲವು ಪ್ರಮುಖ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

(i) **ದ್ಯುತಿ ಶಾಸ್ತ್ರ**: ಬೆಳಕಿನ ವಕ್ರೀಕರಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ತತ್ತ್ವಗಳು, ಯವಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಮತ್ತು ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಮುಖ್ಯವಾದ ಅವನ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವರ್ಣ ಪಟಲದ ಪ್ರಯೋಗವು ಅವನ ಸಮೀಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿ ಸೇರಿವೆ. ವರ್ಣರಹಿತವಾಗಿ ಕಾಣುವ 'ಬಿಳಿಯ' ಬೆಳಕನ್ನು ಒಂದು ಗಾಜಿನ ಮುಪ್ಪಟೆಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಕಾಣಿಸುವ ವಿಸ್ತರಿಸಿದ ವರ್ಣಪಟಲದ ನಿಜವಾದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಿದವನೂ ಇವನ ಹೆಸರನ್ನೇ ಹೊಂದಿರುವ ದೂರದರ್ಶಕವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದವನೂ ಈತನೇ. ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟನ್ ಕಣವಾದವನ್ನೇ ಎತ್ತಿಹಿಡಿದನು. ಬೆಳಕಿನ ವ್ಯತಿಕರಣಕ್ಕೆ (interference) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಅವನು ವಿಫಲನಾದರೂ, ತನ್ನ ವಾದವನ್ನೇ ಸಮರ್ಥಿಸಿದನು.

(ii) **ಉಷ್ಣ ಶಾಸ್ತ್ರ**: ಉಷ್ಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆಯೂ ನ್ಯೂಟನ್ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ಉಷ್ಣದ ಸ್ವರೂಪವೂ ಕಣರೂಪವೇ ಎಂಬ ವಾದವನ್ನು ಎತ್ತಿಹಿಡಿದನು.

(iii) **ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರ**: ವಸ್ತುವಿನ ಚಲನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ನಿಯಮ ಗಳನ್ನು ಶಾಸ್ತ್ರೀಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ರೂಪಿಸಿದವನೇ ನ್ಯೂಟನ್ - ಇವನ ಹೆಸರಿನಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರಸಿದ್ಧಿ ಪಡೆದಿರುವ ಮೂರು ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಇಂದಿಗೂ ಸ್ಮರಿಸಬೇಕು.

(iv) **ಗಣಿತ ವಿಜ್ಞಾನ**: ಗಣಿತ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಲನ ಶಾಸ್ತ್ರ (Calculus) ವೆಂಬ ವಿಭಾಗಕ್ಕೆ ಮೂಲಕರ್ತನೆಂದು ನ್ಯೂಟನ್ ಪ್ರಸಿದ್ಧಿಯಾಗಿದ್ದಾನೆ.

ಇಷ್ಟು ಸರ್ವತೋಮುಖವಾದ ಪ್ರತಿಭೆಯಿಂದ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಗತಿಗೆ ಬಹಳ ಮಟ್ಟಿಗೆ ಸಹಾಯಕನಾಗಿದ್ದರೂ, ನ್ಯೂಟನ್ ಎಷ್ಟು ನಮ್ರ ಸ್ವಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದನೆಂಬುದು ಅವನ ವಾಣಿಯಿಂದಲೇ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. "ಪ್ರಪಂಚಕ್ಕೆ ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಾನು ತೋರುತ್ತೇನೆಯೋ ನನಗೆ ತಿಳಿಯದು. ನನ್ನ ಮಟ್ಟಿಗೆ

ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಅಪಾರವಾದ ಸಮುದ್ರ ದಡದಲ್ಲಿ ಆಟವಾಡುತ್ತಿರುವ ಸಣ್ಣ ಬಾಲಕನಂತೆ, ಇಲ್ಲೊಂದು, ಅಲ್ಲೊಂದು ಸಣ್ಣಕಲ್ಲು, ಅಥವಾ ಶಂಖವೋ ಕಂಡು ಬಂದರೆ ಅವುಗಳಿಂದ ಚಕಿತನಾಗುತ್ತೇನೆ. ನನ್ನ ಎದುರಿಗೆ ಅಗಾಧವಾದ ಸತ್ಯದ ಸಾಗರವು ಅಮೇಯವಾಗಿಯೇ ಉಳಿದಿದೆ." "ಆಫ್ಟಿಕ್ಸ್" (Opticks), "ಪ್ರಿನ್‌ಸಿಪಿಯಾ" (Principia) ಮುಂತಾದುವು ಈತನು ನಮಗೆ ಬಿಟ್ಟು ಹೋಗಿರುವ ಜ್ಞಾನರಾಶಿಯಾಗಿದೆ.

(v) **ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ನಿಯಮ :** ಭೂಮಿಯಲ್ಲಿರುವ ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳ ನಡುವೆಯೂ ಅಥವಾ ವಿಶ್ವದಲ್ಲಿಯೇ ಯಾವುದೇ ಎರಡು ವಿಧವಾದ ಪದಾರ್ಥಗಳಾಗಲಿ, ಆಕಾಶ ಕಾಯಗಳಾಗಲಿ, ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಪರಸ್ಪರ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲವು ಆ ಪದಾರ್ಥಗಳ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಳ ಗುಣಲಬ್ಧಕ್ಕೆ ಅನುಲೋಮವಾಗಿಯೂ, ಅವುಗಳ ಅಂತರ ದೂರಗಳ ವರ್ಗಗಳಿಗೆ ಪ್ರತಿಲೋಮವಾಗಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಅವನ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾದ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ನಿಯಮ (Universal Law of Gravitation).

$$F = G.\frac{m_1 m_2}{d^2} \quad \cdots \quad 1.4$$

ನ್ಯೂಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಜೀವನ ಚರಿತ್ರೆಯು ಎಲ್ಲರಿಂದಲೂ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಲ್ಪಡಲು ಯೋಗ್ಯವಾದುದು.

ಬಾಯ್ಲ್ (1627 - 1691) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಅನಿಲಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಬಾಯ್ಲ್ ನಿಯಮದಿಂದ ಪ್ರಸಿದ್ಧನಾಗಿದ್ದಾನೆ. ಹಾಯ್‌ಜೆನ್ಸ್ (1629-1695) ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ತನ್ನ ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತದಿಂದ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಪಡೆದಿದ್ದಾನೆ. ಹುಕ್, ಲೈಬ್ನಿಟ್ಜ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ಕಾಲಕ್ಕೆ ಸೇರಿದವರು.

ಈಗ 18 ನೆಯ ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದ ವೇಳೆಗೆ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಗತಿಯು ಯಾವ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿತು ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಸೂಕ್ತವಾಗಿದೆ.

ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ : ನ್ಯೂಟನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಮೂರು ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಮೊದಲು ತಿಳಿಸಬೇಕು ದ್ರವಬಲಶಾಸ್ತ್ರ (Hydrodynamics) ದಲ್ಲಿ ಬರ್ನೂಲಿ (1700–1782) ಯು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದನು. ಅನಿಲಗಳ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ಸರಳುಗಳ ಆಂದೋಲನಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿಯೂ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದ್ದಾನೆ. 1746ರಲ್ಲಿ ಆಯ್ಲರ್ (Euler) ಕೋನೀಯ ಆವೇಗದ ನಿತ್ಯತ್ವನಿಯಮವನ್ನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದನು. ಲಗ್ರಾಂಜ್ (1736-1813) ತನ್ನ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾದ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಪ್ರಸಿದ್ಧಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಾನೆ.

ಉಷ್ಣಶಾಸ್ತ್ರ : 1613ರಲ್ಲಿ ಗೆಲಿಲಿಯೋ ಅನಿಲ ಉಷ್ಣಮಾಪಕವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು, ಫಾರನ್‌ಹೈಟ್, ಬ್ಲಾಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು, ಉಷ್ಣಾಂಶಮಾನ, ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣ, ಗುಪ್ತೋಷ್ಣಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದರು.

ಆದರೆ, ಉಷ್ಣದ ಸ್ವರೂಪದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಗತಿಯಾಗಲಿಲ್ಲ. ಉಷ್ಣವು ಕಣರೂಪದ್ದು ಎಂಬ ನ್ಯೂಟನ್‌ವಾದವೇ ಮನ್ನಣೆ ಪಡೆದಿದ್ದಿತು.

ದ್ಯುತಿಶಾಸ್ತ್ರ : 1728ರಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಅಪಸರಣದ (aberration of light) ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಬ್ರಾಡ್‌ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮಹತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಗತಿಯಾಗಲಿಲ್ಲ, ನ್ಯೂಟನ್ ತನ್ನ ಕಣವಾದದಿಂದ ಒಡ್ಡಿದ್ದ ಮೋಹವು ಈ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿಯೂ ಮುಂದುವರೆಯಿತು.

ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿ : ಸ್ಥಾಯೀವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿ (Electro-statics) ಯ ವಿಚಾರದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಪ್ರಗತಿಯು ಕಂಡು ಬಂದಿತು. ಗ್ರೇ (Stephen Gray) ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕಗಳಿಗೂ, ಅವಾಹಕಗಳಿಗೂ ಇರುವ ಭೇದಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಿದನು. ಹಾಗೆಯೇ ವಿದ್ಯುತ್‌ಮಾಪಕವು (Electroscope) ನಿರ್ಮಾಣವಾಯಿತು. ಫ್ರಾಂಕ್‌ಲಿನ್, ಕ್ಯಾವೆಂಡಿಷ್ ಮತ್ತು ಕೂಲಂಬ್ ಎಂಬ ಮೂವರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಗಮನಾರ್ಹವಾದುವು. ಮಿಂಚಿನ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಫ್ರಾಂಕ್‌ಲಿನ್ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದನು. ಕ್ಯಾವೆಂಡಿಷ್ 1798ರಲ್ಲಿ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಗುಣಾಂಕದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ವಿದ್ಯುತ್ ಬಲಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವರ್ಗಪ್ರತಿಲೋಮ (Inverse Square) ದ ನಿಯಮವು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು.

ವಿವಾದಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿದ್ದ ಮೂರು ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಈಗ ನಮೂದಿಸಬಹುದು

(i) ಉಷ್ಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಕಣ ಮತ್ತು ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ವಾದಗಳು

(ii) ಬೆಳಕಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಕಣ ಮತ್ತು ತರಂಗ ವಾದಗಳು

(iii) ವಿದ್ಯುತ್‌ಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಏಕಧ್ರುವ-ದ್ವಿಧ್ರುವ ವಾದಗಳು

2. ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನ-ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯ

2.1 ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಪ್ರಗತಿ

ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ, ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾದ ಗಣನೀಯ ಪ್ರಗತಿಯನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಲೇಬೇಕು. ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರ, ಉಷ್ಣ, ಬೆಳಕು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿ ಎಂಬ ನಾಲ್ಕು ವಿಭಾಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಅತ್ಯುತ್ತಮ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು. ಹಿಂದಿನ ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದಲ್ಲಿ ಒದಗಿದ್ದ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೆ ತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ಪರಿಹಾರಗಳೂ ದೊರಕಿದುವು.

ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಹ್ಯಾಮಿಲ್ಟನ್ ತನ್ನ ಹೆಸರಿನಲ್ಲಿಯೇ ಈಗಲೂ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿರುವ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ವಿಷಯಗಳಿಗೆ ಇವು ಬಹಳ ಉಪಯುಕ್ತವಾದುವು. ದ್ರವಬಲಶಾಸ್ತ್ರ (Hydro-dynamics) ದಲ್ಲಿಯೂ ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು, ದ್ರವಗಳ ಚಲನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ಲಕ್ಷಣಗಳು ಪರಿಶೀಲಿಸಲ್ಪಟ್ಟುವು. ಇತರ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಬಂದ ಪ್ರಗತಿಯು ಈ ಕೆಳಗಿನ ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟವು:

1. ಉಷ್ಣದ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತ–ಅನಿಲಗಳ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತ. ಇದು ಅಣುಗಳ ಚಲನೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟು, ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರವನ್ನು (Statistical mechanics) ರೂಪಿಸಿತು.

2. ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗಿದ್ದ ವಿವಾದಗಳಲ್ಲಿ ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಜಯ ಮತ್ತು ಸ್ಥಿರ ಸ್ಥಾನ ಕಲ್ಪನೆ. ಆದರೆ, ಮೊದಲಿನ ಅರ್ಧ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ್ದ ಕಣವಾದವು ಹೋರಾಡಿ ಸೋಲನ್ನು ಒಪ್ಪಬೇಕಾಯಿತು.

3. ಶಕ್ತಿಯ ನಿಯತತ್ವ ನಿಯಮದ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಸ್ವರೂಪ ನಿರೂಪಣೆ (General Law of Conservation of energy) ಉಷ್ಣಬಲಕ್ರಿಯಾ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಎರಡನೆಯ ನಿಯಮ (Second Law of Thermodynamics).

4. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಶಕ್ತಿಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಅಖಂಡ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯುಳ್ಳ ಪ್ರಗತಿ. ಇದರ ಮೂಲ ಪುರುಷನಾದ ಫ್ಯಾರಡೆ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಪ್ರಭಾವ, ಮತ್ತೊಬ್ಬ ಮಹಾಪುರುಷನಾದ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಹೊರಗೆಡಹಿದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತ (Maxwell's Electro-magnetic Theory) ಮತ್ತು ಅದನ್ನು ಬೆಳಕಿಗೆ ಅನ್ವಯಗೊಳಿಸಿದುದು. ಒಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ, ಈ ಇಬ್ಬರು ಮಹನೀಯರ ತೇಜಸ್ಸಿನಿಂದ ಇಡೀ ಶತಮಾನವು ಬೆಳಗಿತು.

ಈಗ ಈ ವಿವಿಧಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಬಂದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ವಿಶದ ಪಡಿಸುವುದು ಅಗತ್ಯ.

2.2 ಉಷ್ಣ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ

ಶಕ್ತಿಯ ನಿತ್ಯತ್ವದ ನಿಯಮವು ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ನಿಯಮ. ಆದರೆ, ಇದು ಸ್ಥಿರವಾಗಿ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದು ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ. ಅದಕ್ಕೆ ಪೂರ್ವಭಾವಿಯಾಗಿ, ಉಷ್ಣಕ್ಕೂ ಮತ್ತು ಯಾಂತ್ರಿಕ ಶಕ್ತಿಗೂ ಇರುವ ಸಮಾನತ್ವವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಾಧಿಸಬೇಕಾಯಿತು. 1798 ರಲ್ಲಿ ಕೌಂಟ್‌ರಮ್‌ಫರ್ಡ್ ಎಂಬ ಯುದ್ಧಶಾಖೆಗೆ ಸೇರಿದ ಒಬ್ಬ ತಾಂತ್ರಿಕಜ್ಞನು (engineer) ಮದ್ದು ಗುಂಡುಗಳನ್ನು ಕೊರೆಯುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಶಾಖವು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವುದನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದನು. ಈ ಕೊರೆತದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಚೂರುಗಳ (chips) ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣಕ್ಕೂ ಅವುಗಳ ಮೂಲ ತುಂಡಿನ (block) ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣಕ್ಕೂ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಕಂಡುಬರಲಿಲ್ಲ ಮತ್ತು ತೂಕಗಳೂ ಸಮನಾಗಿದ್ದುವು. ಇದರಿಂದ ಆತನು ಮಾಡಿದ ಊಹೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಉಷ್ಣವೆಂದರೆ ಯಾವ ದ್ರವ್ಯವಸ್ತುವಾಗಿಯೂ ಇರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ನ್ಯೂಟನ್ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಉಷ್ಣವು 'ಕ್ಯಾಲರಿಕ್' ಎಂಬ ಕಣರೂಪದ ವಸ್ತುವಾಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಉಷ್ಣವೆಂದರೆ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಚಲನೆಯಾಗಿರಬೇಕು. ಹಾಗೆಯೇ 'ಕ್ಯಾಲರಿಕ್' ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ವಿರೋಧವಾಗಿ 'ಡೇವಿ' ಮತ್ತೊಂದು ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದನು. ನಿರ್ವಾತ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮಂಜುಗಡ್ಡೆಯ ತುಂಡುಗಳನ್ನು ಬಲವಾಗಿ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ ಉಜ್ಜುವುದರ ಫಲವಾಗಿ ನೀರು ಉತ್ಪನ್ನವಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವುದು ಏನೆಂದರೆ, ಉಜ್ಜುವ ವಿಧಾನದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಣಾಮವೂ ಹೊರಗಿನಿಂದ ಉಷ್ಣವನ್ನು ಸೇರಿಸುವುದರ ಪರಿಣಾಮವೂ ಒಂದೇ ಎಂಬ ಅರ್ಥ ಬರುತ್ತದೆ. ಮಂಜುಗಡ್ಡೆಗೆ ಉಷ್ಣವು ಸೇರಿದರೆ ತಾನೆ ನೀರಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಬಲ್ಲುದು.

ಈ ಉಷ್ಣವು ಉಜ್ಜುವುದರ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರಬೇಕು. 'ಕ್ಯಾಲರಿಕ್' ಕಣಯ್ಯಾವುದೂ ಇದರಲ್ಲಿ ಪಾತ್ರ ವಹಿಸುವಹಾಗಿಲ್ಲ.

ಈ ಎರಡು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ತತ್ತ್ವವು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿದ್ದರೂ, ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 'ಕ್ಯಾಲರಿಕ್' ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕೈಬಿಡಲು ಶಂಕಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಸುಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಯಾದ ಕಾರ್ನೋ (Carnot) ಕೂಡ 1824ರಲ್ಲಿ ಆ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಎತ್ತಿ ಹಿಡಿದಿದ್ದನು.

ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಜೂಲ್ (1818–1889) ಇಂಗ್ಲೆಂಡ್‌ನಲ್ಲಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿ, 1847 ರಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದನು. ನೀರನ್ನು ಕಲಕಲು ಒಂದು ಗಾಲಿ ಸಲಕರಣೆಯನ್ನು (paddle-wheel) ಅಳವಡಿಸಿ, ಈ ಗಾಲಿಯು ಸುತ್ತಲು ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಗಾಗಿ ಎತ್ತರದಿಂದ ಬೀಳುವ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ತೂಕವನ್ನು ಜೋಡಿಸಿದ್ದನು. ಅಂದರೆ, ಆ ತೂಕದ ಇಳಿಯುವಿಕೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಶಕ್ತಿಯೇ ಗಾಲಿಯನ್ನು ತಿರುಗಿಸಿ, ನೀರಿನ ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನು ಏರುವಂತೆ ಮಾಡಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಶಕ್ತಿಯು ನೇರಾಗಿ ಉಷ್ಣವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದರಿಂದ ಈ ಎರಡರ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅಂಕಿ ಅಂಶಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಅಳತೆಗಳಿಂದ ಖಚಿತಪಡಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಅವನ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ 778 ft. lb. ಯಾಂತ್ರಿಕ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ 1lb. ನೀರಿನ ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನು 1°F ಮೂಲಕ ಏರಿಸಬಹುದು. ಈ ಮಹತ್ವಪೂರಿತವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಯ ನಿಜವಾದ ಬೆಲೆಯನ್ನು ಕಂಡ ಕೆಲ್ವಿನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ಲೇಖನವನ್ನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದನು. ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಹೆಲ್ಮ್‌ಹೋಲ್ಟ್ಜ್ (Helmholtz) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ನಿರಂತರ ಚಾಲಕ ಯಂತ್ರಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವು ಅಸಾಧ್ಯವೆಂಬ ತತ್ತ್ವದ ಮೇಲೆ ಶಕ್ತಿಯ ನಿತ್ಯತ್ವದ ನಿಯಮದ ವಿಷಯವಾಗಿ ಒಂದು ಲೇಖನವನ್ನು ಕಳುಹಿಸಿದನು. ಇದನ್ನು ಜರ್ಮನ್ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಪತ್ರಿಕೆಯಾದ 'ಆ್ಯನಲಿನ್‌ಡರ್ ಫಿಸಿಕ್' ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಲು ನಿರಾಕರಿಸಿತಂತೆ. ಆದರೂ, ಬೇರೆ ಹೊತ್ತಿಗೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟವಾಯಿತು. ಅಂದರೆ, ಶತಮಾನದ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿಯೂ ಕೂಡ, ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಜ್ಞಾನವು ಎದುರಿಸಬೇಕಾದ ವಿರೋಧವು ಅಳಿದಿರಲಿಲ್ಲ.

ಹೀಗಾದರೂ, 'ಕ್ಯಾಲರಿಕ್' ತತ್ತ್ವವು ತನ್ನ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಂಡು, ಉಷ್ಣವು ಶಕ್ತಿಯ ಒಂದು ರೂಪ ಎಂಬ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಮನ್ನಣೆ ಅನಿವಾರ್ಯವಾಯಿತು. ಇದಾದನಂತರ ಉಷ್ಣದ ಸಂಬಂಧವಾದ ವಿಜ್ಞಾನವು ರಭಸದಿಂದ ಮುಂದುವರೆಯಿತು. 1850 ರಲ್ಲಿ ಕ್ಲೌಸಿಯಸ್ ಉಷ್ಣಬಲಕ್ರಿಯಾಶಾಸ್ತ್ರದ ಎರಡನೆಯ ನಿಯಮವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಈ ನಿಯಮವು ಸರ್ವತೋಮುಖವಾದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಅನಿಲಗಳ ಅಣುಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಗಣ

ನೀಯವಾದ ಪ್ರಗತಿಯು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಅಣುಸಿದ್ಧಾಂತದ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಹಲವಾರು ಅನಿಲಗಳ ನಿಯಮಗಳು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟುವು. ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ತನ್ನ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಸಿದ್ಧಾಂತವಾದ 'ಶಕ್ತಿಯ ಸಮವಿಭಾಜಕ ತತ್ತ್ವ' (Equipartition of energy) ವನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಇದೊಂದು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಆಧಾರಸ್ಥಂಭವಾಯಿತು. ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ (Statistical mechanics) ದ ಸಹಾಯದಿಂದ ಸಂಭವನೀಯತೆ (probability) ನಿಯಮಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು. 1854 ರಲ್ಲಿ ಕೆಲ್ವಿನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಉಷ್ಣಬಲಕ್ರಿಯಾಶಾಸ್ತ್ರದ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಒಂದು ಉಷ್ಣಾಂಶಮಾನ (thermodynamical scale of temperature) ವನ್ನು ರಚಿಸಿದನು.

ಈ ಎಲ್ಲ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಉಷ್ಣದ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾದ ಮೂಲತತ್ತ್ವಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು. ಉಷ್ಣಬಲಕ್ರಿಯಾ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಹಾಯದಿಂದ ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಶಾಖ ಯಂತ್ರಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಉಷ್ಣದ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ (classical theory) ತತ್ತ್ವವು ರೂಪುಗೊಂಡಿತು. ಶಕ್ತಿಯ ನಿಯತತ್ವ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಪ್ರಧಾನ ಸ್ಥಾನವು ಕಲ್ಪಿತವಾಯಿತು.

2.3 ದ್ಯುತಿ ವಿಜ್ಞಾನ (Optics)

ದ್ಯುತಿ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದ ವಿಷಯವು ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ಘಟ್ಟವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿತು. ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ನ್ಯೂಟನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಕಣ (Corpuscular theory) ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಕೈಬಿಡಬೇಕಾಗಿ ಬಂದಿತು. ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಬೇರೂರಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.

ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರತಿಪಾದನೆಯಲ್ಲಿ ಥಾಮಸ್ ಯಂಗ್ (1773-1829) ಗೆ ಪ್ರಮುಖ ಸ್ಥಾನವು ದೊರಕಬೇಕು. 1801 ರಲ್ಲಿ ಅವನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದ ಸಂಶೋಧನೆಯಲ್ಲಿ ಅಲೆಗಳ ವ್ಯತಿಕರಣ (interference of waves) ಕ್ಕೂ ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತೋರಿಸಿದನು. ಸಣ್ಣ ಫಲಕಗಳ ಮತ್ತು ಪದರಗಳ ವರ್ಣಗಳಿಗೆ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡಲು ಯಂಗ್ ತರಂಗವಾದವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದನು. ಈ ವಿಷಯವಾಗಿ ನ್ಯೂಟನ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗ (Newton's rings) ಗಳ ಅಳತೆಗಳ ಆಧಾರದಮೇಲೆ, ಯಂಗ್ ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಯ ತರಂಗಾಂತರ (wave-length) ವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಮರ್ಥನಾದನು. ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ವ್ಯತಿಕರಣ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ, ತರಂಗವಾದವನ್ನು ಪ್ರಮಾಣ

ಗಳ ಅಳತೆಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಸಾಧಿಸಿದನು. ಆದರೆ, ಆಗಿನ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಗೆ ಬೆಲೆಯೂ, ವಿಜ್ಞಾನ ವಿಚಾರಗಳಲ್ಲಿ ಸಹನೆಯೂ ಜನರಲ್ಲಿ ಮೂಡದೆ ಇದ್ದಿದ್ದರಿಂದ, ಯಂಗ್ ಮಾಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಸಲ್ಲಬೇಕಾದ ಮನ್ನಣೆಯು ಬೇಗ ಸಿಗಲಿಲ್ಲ.

1815 ರಲ್ಲಿ ಫ್ರನಲ್ (Fresnel) ಎಂಬ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ದ್ಯುತಿ ವ್ಯತಿಕರಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ದರ್ಪಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ತರಂಗವಾದವನ್ನೇ ಸಮರ್ಥಿಸಿದನು. ಅದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರೀಯ ಆಧಾರವನ್ನು ಸಾಧಿಸಿದನು. ಅಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲದೆ ದ್ಯುತಿಯ ಧ್ರುವಣ (polarization of light) ಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದನು. ಇದರಿಂದ ಬೆಳಕು 'ಅಡ್ಡ ಅಲೆ'ಯು (transverse wave) ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರಿದುದೆಂದು ವ್ಯಕ್ತಪಡಿಸಿದನು. ಇದೇ ದ್ಯುತಿ ಧ್ರುವಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗವು 1669 ರಲ್ಲಿ ಬಾರ್ಥಲಿನಸ್‌ನಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟು ಅದಕ್ಕೆ ನ್ಯೂಟನ್ ತನ್ನ ಕಣವಾದವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಲು ಪ್ರಯತ್ನಮಾಡಿ ವಿಫಲನಾಗಿದ್ದನು.

ಹೀಗಾಗಿ 1850 ರಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗವಾದಕ್ಕೆ ಸಾಕಷ್ಟು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರವು ಬಂದು ಅದರ ಯಶಸ್ಸನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಿತು. ಅದೇ ವರ್ಷದಲ್ಲಿ ಫೂಕೋ (Foucault) ಒಂದು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮಾಡಿ, ಬೆಳಕಿನ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಚಲಿತವಾಗಿದ್ದ ಕಣ ಮತ್ತು ತರಂಗವಾದಗಳನ್ನು ಸತ್ವ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದನು. ಇದೇ ಅವನ ಹೆಸರಿನ 'ಭ್ರಮಣ ದರ್ಪಣದ ಪ್ರಯೋಗ' (Rotating mirror experiment). ಇದರ ಫಲಿತಾಂಶವಾಗಿ ಬೆಳಕು ನೀರಿನಲ್ಲಿ ನಿಧಾನವಾಗಿಯೂ, ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದಲೂ ಪ್ರಸಾರವಾಗುತ್ತದೆಂದು ನಿರ್ಧರಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಆದರೆ, ಕಣವಾದದ ಪ್ರಕಾರ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿ ಇರುವುದಕ್ಕಿಂತ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ತೀರ್ಪು ತರಂಗವಾದದ ಪರವಾಗಿಯೇ ಬಂದುದರಿಂದ ಅಂದಿನಿಂದ ನ್ಯೂಟನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ್ದ ಕಣವಾದವು ಬಿದ್ದುಹೋಗಬೇಕಾಯಿತು. 1850-1890ರ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ತರಂಗವಾದದ ಪ್ರಾಬಲ್ಯವು ಹೆಚ್ಚುತ್ತ, ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದ ವೇಳೆಗೆ ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಭದ್ರವಾದ ಸ್ಥಾನವು ದೊರಕಿತು.

2.4 ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಕಾಂತಶಕ್ತಿ

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಈ ವಿಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಪ್ರಗತಿಯು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದನ್ನು ಪೂರ್ಣವಾಗಿ ವಿವರಿಸಲು ಒಂದು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಗ್ರಂಥವು ಬೇಕಾದೀತು. ಗಾಲ್ವಾನಿ, ವಾಲ್ಟ (Galvani and Volta) ಮಾಡಿದ

ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರವಾಹ (electric current) ದ ಲಕ್ಷಣಗಳು ವ್ಯಕ್ತವಾದುವು. ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶಗಳಿಂದ ನಿರ್ಮಾಣ ವಾಗಬಲ್ಲ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹದ ಶಕ್ತಿಯ ಬಲದಿಂದ, ಕಾಂತೀಯ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಮತ್ತು ಉಷ್ಣದ (magnetic, chemical & thermal) ಪರಿಣಾಮಗಳು ಗೊತ್ತಾದುವು. ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಬೆಳಗಬಲ್ಲ ವಿದ್ಯುತ್‌ದೀಪಗಳು (electric lamps) ಒಂದು ಹೊಸ ಕೈಗಾರಿಕೆಗೆ ತಳಹದಿಯಾದುವು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕಗಳು (ammeters) ನಿರ್ಮಾಣವಾದುವು. ಇಷ್ಟೆಲ್ಲ ಪ್ರಗತಿಯು ಕಂಡುಬಂದರೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಮುಖವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ವಿಖ್ಯಾತರಾಗಿರುವ ಮೈಕೇಲ್ ಫ್ಯಾರಡೆ (1791–1867) ಮತ್ತು ಕ್ಲಾರ್ಕ್ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ (1831–1879) ಎಂಬ ಇಬ್ಬರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ಶತಮಾನದ ಮಹಾಪುರುಷರೆಂದು ಧೈರ್ಯವಾಗಿ ಹೇಳಬಹುದು.

ವಿಜ್ಞಾನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ನಿರತನಾಗಿರುವ ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ ಇರಬೇಕಾದ ಆದರ್ಶ ಗುಣಗಳೆಲ್ಲವೂ ಫ್ಯಾರಡೆಯಲ್ಲಿ ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಮೂರ್ತಿಮತ್ತಾಗಿದ್ದುವು. ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿಯೇ ಈತನಿಗೆ ಒಂದು ವಿಶಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವು ಏರ್ಪಟ್ಟಿದೆ. ಈತನು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಹಲವಾರು ಶಾಖೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿ ಸುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ ವಿಮರ್ಶೆಯೇ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ.

ಲಂಡನ್‌ಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಗ್ರಾಮದಲ್ಲಿ 1791 ರಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿದ ಫ್ಯಾರಡೆಯು ಬಾಲ್ಯದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಕಷ್ಟಗಳಲ್ಲೂ ಕಾರ್ಪಣ್ಯದಲ್ಲಿಯೂ ಕಳೆಯಬೇಕಾ ಯಿತು. ತನ್ನ 14ನೆಯ ವರ್ಷದಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ಪುಸ್ತಕ ಮಾರಾಟದ ಅಂಗಡಿಯಲ್ಲಿ ಕೆಲಸಕ್ಕೆ ಸೇರಿರುವಾಗಲೇ, ಅಲ್ಲಿ ಬರುತ್ತಿದ್ದ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪುಸ್ತಕ ಗಳನ್ನು ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡುವುದು ಬಾಲಕನಿಗೆ ಹವ್ಯಾಸವಾಗಿದ್ದಿತು. ಆಗಲೇ, ಅತ್ಯಲ್ಪ ವೆಚ್ಚದಲ್ಲಿ ಕೊಳ್ಳಬಹುದಾದ ಸಾಮಗ್ರಿಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ ಪ್ರಯೋಗ ಗಳನ್ನು ಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿ ಆಸಕ್ತನಾದನು. ಸರ್ ಹಂಫ್ರಿ ಡೇವಿಯೆಂಬ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1812 ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ 4 ಉಪನ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಕೇಳಿ ಅದರ ಸಾರಾಂಶವನ್ನು ಚೊಕ್ಕವಾಗಿ ಬರೆದಿಟ್ಟುಕೊಂಡನು. ನಂತರ ಡೇವಿಯ ಕೈಕೆಳಗೆ ಒಂದು ಉದ್ಯೋಗವನ್ನೂ ದೊರಕಿಸಿಕೊಂಡನು. ಈ ತರುಣನ ಉತ್ಸಾಹ ವನ್ನು ಮೆಚ್ಚಿ ಅವನಿಗೆ ತನ್ನ ಸಹಾಯಕ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿ ವೇತನವನ್ನೂ ನಿಗದಿ ಮಾಡಿದನು. ಈ ಕೆಲಸದಲ್ಲಿ ಫ್ಯಾರಡೆಗೆ ಯುರೋಪ್ ಪ್ರವಾಸವನ್ನು ತನ್ನ ಯಜ ಮಾನನೊಂದಿಗೆ ಕೈಕೊಳ್ಳುವ ಅವಕಾಶವು ದೊರಕಿ ಅದರಿಂದ ಅಪಾರವಾದ ಜ್ಞಾನವು ಲಭಿಸಿತು.

ಪ್ರವಾಸದಿಂದ ಹಿಂತಿರುಗಿದ ನಂತರ ಫ್ಯಾರಡೆ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ತೀವ್ರವಾಗಿ ಮುಂದುವರೆಸಿ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. 1820ರಲ್ಲಿ ಆರಂಭವಾದ ಇವನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಸುಮಾರು 40 ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಸಾಗಿದುವು. 1825ರ ಹೊತ್ತಿಗೆ, ಈತನಿಗೆ ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಯ ನಿರ್ದೇಶಕ ಸ್ಥಾನವು (Director of the Laboratory) ಲಭಿಸಿತು. ಈ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಇವನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದುವನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬಹುದು.

(i) ಮೋಟಾರ್ ಚಾಲಕ ಯಂತ್ರದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದುದು

ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಇಡಲ್ಪಟ್ಟ ಒಂದು ಲೋಹದ ತಂತಿಯ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಕಳುಹಿಸುವುದರಿಂದ, ಆ ತಂತಿಯು ಒಂದು ಯಾಂತ್ರಿಕ ಬಲಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿ ಅದನ್ನು ಸುತ್ತುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಇದೇ ಪ್ರಪ್ರಥಮ ವಿದ್ಯುತ್ ಮೋಟಾರ್.

(ii) ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಪ್ರೇರೇಪಣೆ

1831 ರಲ್ಲಿ ಫ್ಯಾರಡೆಯು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಪ್ರೇರೇಪಣೆಗೆ (Electro-magnetic induction) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ನಿಯಮಗಳು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದುವು. ಇಂದು ನಾವು ಈ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಯುಗದ ನಾಗರಿಕತೆಯಲ್ಲಿ ಡೈನಮೋ, ಮೋಟಾರುಗಳ ಉಪಯೋಗದಿಂದ ಉಂಟಾಗಿರುವ ಕ್ರಾಂತಿಯ ಫಲವನ್ನು ಅನುಭವಿಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಮಾನವನು ಫ್ಯಾರಡೆಗೆ ಚಿರಋಣಿಯಾಗಿರಬೇಕು.

ಅವನ ಸರಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಾಂತ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಶಕ್ತಿಗಳ ನಡುವಣ ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಸರಳವಾಗಿ ಹೇಳಬಹುದಾದರೆ, "ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯೆಂದರೆ, ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಕಾಂತಶಕ್ತಿ ; ಕಾಂತಶಕ್ತಿ ಎಂದರೆ, ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿ".

ಫ್ಯಾರಡೆಯು ಸ್ವಭಾವತಃ ನುರಿತ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಆತನು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಮಾರ್ಗದ ಕಡೆ ತನ್ನ ಗಮನವನ್ನು ಕೊಡಲಿಲ್ಲ. ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಮೂಲಭೂತವಾದ ಪ್ರಕೃತಿಯ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳ ಅನ್ವೇಷಣೆಯೇ ಅವನ ಸತತ ಧ್ಯೇಯವಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದೇ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೇ, ಎರಡು ಕಾಂತ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವಣ ಬಲವನ್ನೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶಗಳ ನಡುವಣ ಬಲವನ್ನೂ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡುವಾಗ ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯ (medium) ಪ್ರಭಾವದ ಕಡೆ ಅವನ

ಗಮನವು ಬಿದ್ದಿತು. ಇದರಿಂದಲೇ ಅವನು ಬಲದ ರೇಖೆಗಳ (lines of force) ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿದನು.

(iii) **ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ** (Electrolysis)

ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯು ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕ ದ್ರವದ ಮೂಲಕ ಪ್ರವಹಿಸುವಾಗ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಬದಲಾವಣೆಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಸೂತ್ರರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಇಂದಿಗೂ ಆ ನಿಯಮಗಳಿಗೆ ಫ್ಯಾರಡೆ ಹೆಸರೇ ಇದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವವೇನೆಂದರೆ : ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಯ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನೊಂದಿಗೆ ಹೊಂದಿ (ಅಂಟಿಕೊಳ್ಳುವ) ಕೊಳ್ಳುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ (ionic charge) ಪ್ರಮಾಣವು ಮುಖ್ಯವಾದುದು. ಈಗ ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ತೂಕ ಮಾನ (unit mass) ದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ಪರಮಾಣುಗಳು ಅಡಗಿವೆ ಎಂಬುದು ಫ್ಯಾರಡೆಗೆ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದರೆ, ಸುಮಾರು 60 ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆಯೇ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರಬಹುದಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದರಿಂದ ಫ್ಯಾರಡೆಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಮಹತ್ವವು ಎದ್ದು ಕಾಣುತ್ತದೆ.

(iv) **ಕಾಂತಶಕ್ತಿಗೂ ಬೆಳಕಿಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧ :** (ಫ್ಯಾರಡೆ ಪರಿಣಾಮ)

ಸುಮಾರು ಇಪ್ಪತ್ತು ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಮಾಡಿದ ನಿರಂತರ ಪರಿಶ್ರಮದ ಫಲವಾಗಿ ಫ್ಯಾರಡೆಯು ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಸಫಲನಾದನು. ಅವನು ತೋರ್ಪಡಿಸಿದ ಸಹನೆ ಮತ್ತು ಆಶಾಭಾವವು ಅಸಾಧಾರಣವಾದುದು. ಒಂದು ಪಾರದರ್ಶಕ ವಸ್ತುವಿನ ಮೂಲಕ ಧ್ರುವೀಕೃತ ಬೆಳಕನ್ನು ಪ್ರವಹಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಆ ವಸ್ತುವನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಿದರೆ, ಕಾಂತೀಯ ಬಲದ ರೇಖೆಗಳು ಬೆಳಕಿನ ಗಮನ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿದ್ದಾಗ, ಧ್ರುವೀಕರಣದ ಸಮತಲವು (plane of polarization is rotated) ಭ್ರಮಣ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದೇ 'ಫ್ಯಾರಡೆ ಪರಿಣಾಮ'ವೆಂದು ಹೆಸರಾಗಿದೆ.

(v) **ಇತರ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು**

ರಸಾಯನ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಫಲಕಾರಿಯಾದುವು. ಅನಿಲಗಳ ದ್ರವೀಕರಣವು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದುದು. ಸ್ವಪ್ರೇರಣೆ (self-induction), ಅನುಕಾಂತತತ್ವ (dia-magnetism), ಫಲಕಗಳ ಆಂದೋಲನಗಳು, ಶಕ್ತಿಯ ನಿತ್ಯತ್ವ ನಿಯಮ ಇತ್ಯಾದಿ.

ಫ್ಯಾರಡೆಯು ಅತ್ಯಂತ ನಿಗರ್ವಿಯೂ, ಸರಳ ಸ್ವಭಾವದವನೂ, ಸ್ವಯಂ ಶಿಕ್ಷಿತನೂ, ವಿನಮ್ರ ಸ್ವಭಾವದವನೂ ಆಗಿದ್ದು ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟದ ಮೇಧಾವಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಶ್ರೇಣಿಗಳಲ್ಲಿ ಅಗ್ರಸ್ಥಾನವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಾನೆ.

ಈತನ ಲೇಖನಗಳನ್ನೋದಿದರೆ, ಅವನ ಗಮನವೆಲ್ಲವೂ ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ಆಕಾಂಕ್ಷೆಯಾಗಿದ್ದಿತಲ್ಲದೆ ಸ್ವಲ್ಪವೂ ಫಲಾಪೇಕ್ಷೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಲಿಲ್ಲವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಸ್ವಂತ ಯಶಸ್ಸಿಗೆ ಕೆಲಸ ಮಾಡುವ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಮಟ್ಟವು ಕಡಮೆಯೆಂದೂ ಹೇಳುತ್ತಾನೆ. ಹೀಗಿದ್ದರೂ, ಫ್ಯಾರಡೆಯು ಮಾಡಿದ ಮೂಲ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಬಳಸಿ ಔಪಯೋಗಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದ (Applied Physics) ಮೂಲಕ ಮಾನವನು ಇಂದು ಅನುಭವಿಸುತ್ತಿರುವ ಫಲಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಫ್ಯಾರಡೆಯನ್ನು ಮಾನವ ಜನಾಂಗದ ಕ್ಷೇಮಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ (benefactors) ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಸೇರಿಸಬೇಕಾಗುವುದು.

2.5 ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತ – ಕ್ಲಾರ್ಕ್ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್

ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ (1831-1879) ಎಡಿನ್‌ಬರೋದಲ್ಲಿ 1831ರಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿದನು. ಅದೇ ವರ್ಷದಲ್ಲಿ ಫ್ಯಾರಡೆಯು ತನ್ನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಪ್ರೇರೇಪಣೆಗೆ ಸಂಬಂಧದ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಪ್ರಸಿದ್ಧನಾಗಿದ್ದನು. ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ಲಿನ ವಿದ್ಯಾಭ್ಯಾಸವು ಎಡಿನ್‌ಬರೋ ಮತ್ತು ಕೇಂಬ್ರಿಜ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ಜರುಗಿ 1854 ರಲ್ಲಿ ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟದ ಪದವೀಧರನಾದನು. ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ತಾತ್ವಿಕ ವಿಭಾಗದಲ್ಲಿಯೂ, ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಭಾಗದಲ್ಲಿಯೂ ಅಸಾಧಾರಣವಾದ ಆಸಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದನು. ಲಂಡನ್‌ನಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿದ್ದ (1860-1865) ಐದು ವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಉತ್ಕೃಷ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಲೇಖನಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯುತ್ತಮ ವಾದುದೆಂದರೆ 1862 ರಲ್ಲಿ ಅವನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದ ಸಂಶೋಧನೆ "ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತ" (Dynamical Theory of the Electro-magnetic Field). ಇದಾದನಂತರ ಸ್ವಲ್ಪ ವಿಶ್ರಾಂತಿಯನ್ನು ಅನುಭವಿಸಿ 1870 ರಲ್ಲಿ ಕೇಂಬ್ರಿಜ್‌ನಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕ ಪೀಠ ವನ್ನು ಅಲಂಕರಿಸಿದನು. ಈ ಹುದ್ದೆಯಲ್ಲಿರುವಾಗಲೇ, ಈಗಲೂ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿರುವ "ಕ್ಯಾವೆಂಡಿಷ್ ಪ್ರಯೋಗಾಲಯ"ವು ಅವನಿಂದಲೇ ಸ್ಥಾಪಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಪ್ರವರ್ಧಮಾನ ವಾಯಿತು. ತನ್ನ ಮರಣಕಾಲ (1879)ದವರೆವಿಗೂ ಆ ಸಂಸ್ಥೆಯ ನಿಯಂತ ನಾಗಿದ್ದನು (Director).

ನಲವತ್ತೆಂಟು ವರ್ಷಗಳು ಮಾತ್ರ ಜೀವಂತನಾಗಿದ್ದ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಬಹಳ ಸಣ್ಣ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 100 ಕ್ಕೂ ಮೇಲ್ಮಟ್ಟದ ಸಂಶೋಧನ ಲೇಖನ

ಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮೂರು ವಿಷಯಗಳು ಮುಖ್ಯವಾದುವು: (i) ವರ್ಣದೃಷ್ಟಿ, (ii) ಅಣುಸಿದ್ಧಾಂತ ಮತ್ತು (iii) ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತ.

ವರ್ಣದ ಅನುಭವವನ್ನು ವಿವರಿಸಲು, ಯಂಗ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಕಣ್ಣಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ, ಕೆಂಪು, ಹಸುರು ಮತ್ತು ಊದ ಎಂಬ ಮೂರು ಪ್ರಧಾನ ಅನುಭಾವ ಕೇಂದ್ರಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನೇ ಪುಷ್ಟೀಕರಿಸಲು, ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ವರ್ಣಪಟಲದ ವರ್ಣಗಳ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ತೋರಿಸುವ ವರ್ಣ ಪೆಟ್ಟಿಗೆ (colour box) ಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು.

ಉಷ್ಣಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ, ಅದರಲ್ಲಿಯೂ, ಅಣುಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಮತ್ತು ಕ್ಲಾಸಿಯಸ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಅಗ್ರಸ್ಥಾನವು ಲಭಿಸಿರುತ್ತದೆ. ದ್ರವ್ಯಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅಣುಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ರೂಪಿಸಲು ಕಾರಣರಾದವರು ಈ ಮಹನೀಯರು. ಅನಿಲದ ಅಣುಗಳ ನಡುವಣ ವೇಗಗಳ ಹಂಚಿಕೆಯ ನಿಯಮವನ್ನು ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಅನಿಲದ ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೂ ಅದರ ಅಣುಗಳ ಸರಾಸರಿ ವೇಗಕ್ಕೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದನು. ಅನಿಲಗಳ ಸ್ನಿಗ್ಧತೆ (viscosity) ಯ ಗುಣಾಂಕಕ್ಕೂ ಒಂದು ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ರಚಿಸಿ, ಈ ಗುಣಾಂಕಕ್ಕೂ ಸಾಂದ್ರತೆಯ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವೂ ಇಲ್ಲವೆಂದು ತೋರಿಸಿದನು. ಇವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟುವು. ಅನಿಲಗಳ ನಿಯಮಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಹೊಸ ಅರ್ಥವು ಅಣು ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ದೊರೆಯಿತು.

ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಮಾಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ನಿರೂಪಣೆಗೂ, ಫ್ಯಾರಡೆಯ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೂ, ಒಂದು ಆದರ್ಶ ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೆರಡನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ ನಮಗೆ ಸಮಗ್ರದೃಷ್ಟಿಯು ಒದಗುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ಪೂರಕಗಳೆಂದು (complementary) ಭಾವಿಸಬೇಕು.

ತನ್ನ ಉದ್ಗ್ರಂಥವಾದ "ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತಶಕ್ತಿ"ಯ ಮುನ್ನುಡಿಯಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಹೀಗೆ ಹೇಳಿರುತ್ತಾನೆ: "ನಾನು ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯ ವಿಚಾರದ ಅಧ್ಯಯನವನ್ನು ಮಾಡುವುದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆ ಯಾವ ಗಣಿತ ಭಾಗಕ್ಕೂ ಕೈಹಾಕದೆ ಫ್ಯಾರಡೆಯ "ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು" ಎಂಬ ಗ್ರಂಥವನ್ನು ಓದಿ ಮುಂದಟ್ಟು ಮಾಡಿಕೊಂಡೆನು". ಇವುಗಳ ಪ್ರೇರೇಪಣೆಯಿಂದಲೇ ಆತನಿಗೆ ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕ (dielectric)ದ ಪಾತ್ರವು ಅರ್ಥವಾಯಿತು. ವಿದ್ಯುತ್‌ನಿರೋಧಕವೆಂದರೆ ಅವನ ಮನಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಮಾದರಿಯ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಗಳೂ

ಅತಿ ತೆಳುವಾದ ವಸ್ತುಗಳೂ, ಕಾಲ್ಪನಿಕವಾಗಿ ಉಳಿದು ಎಲ್ಲ ಶೂನ್ಯವನ್ನೂ (vacuum) ಆವರಿಸಿರುವ ಈಥರ್ ಕೂಡ ಅಡಗಿವೆ.

ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಿವರಿಸಿ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ಮಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ "ಪಲ್ಲಟ ಪ್ರವಾಹಗಳು" (displacement currents) ಎಂಬ ಪದವನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿದನು. ವಿದ್ಯುತ್‌ನಿರೋಧಕ ವಸ್ತುವಿನ ಅಣುಗಳ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ತುದಿಗಳು ಕ್ಷೇತ್ರದ ನೇರದಲ್ಲಿಯೂ, ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ತುದಿಗಳು ಅದಕ್ಕೆ ವಿರೋಧ ನೇರದಲ್ಲಿಯೂ ಅಭಿಮುಖವಾಗಿರುವಂತೆ ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಿದನು. ಅಂದರೆ ಆ ವಸ್ತುವು ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವಣವನ್ನು ಹೊಂದಿದಂತಾಯಿತು (electrically polarized). ಈ ಧ್ರುವಣದ ಬದಲಾವಣೆಯಾದಾಗ ಅದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯು ಪಲ್ಲಟವಾಗಬೇಕು. ಬದಲಾವಣೆಯಾಗುತ್ತಿರುವಾಗ, ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕದ ಮೂಲಕ ಹರಿಯುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ನಂತೆಯೇ ಕಾಂತತ್ವ ಗುಣಗಳುಳ್ಳ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹವು ವಿದ್ಯುತ್‌ನಿರೋಧಕದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕು.

ಈ ಭಾವನೆಗಳನ್ನೇ ಮುಂದುವರೆಸಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ತನ್ನ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾದ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ ರೂಪಿಸಿದನು. ಅವನು ಕಾಲ್ಪನಿಕವಾಗಿ ರಚಿಸಿದ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯು ಅಡ್ಡ ಆಂದೋಲನಗಳನ್ನು ವಹನ ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಅದರ ವೇಗವು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಮಾನಕ್ಕೂ ಸ್ಥಾಯೀವಿದ್ಯುತ್ ವಿದ್ಯುದಂಶದಮಾನಕ್ಕೂ (ratio of the electro-magnetic to the electrostatic units of charge) ಇರುವ ಅನುಪಾತಕ್ಕೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು.

ಮತ್ತೊಂದು ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಪರಿಣಾಮವೇನೆಂದರೆ, ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಮಾನಗಳ ಅನುಪಾತವು ಫಿಜೂ (Fizeau) ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಸರಿಯಾಗಿ ಸಮಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಿತು. ಇದರಿಂದ ಅನಿವಾರ್ಯವಾಗುವ ಭಾವನೆಯೇನೆಂದರೆ, "ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತೀಯವಿದ್ಯಮಾನಗಳಿಗೆ ಕಾರಣಭೂತವಾದ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಅಡ್ಡ ಅಲೆಗಳ ಆಂದೋಲನ ರೂಪಗಳೇ ಬೆಳಕು ಎನಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು.

ವಿದ್ಯುತ್ ಆಂದೋಲನಗಳೂ, ಕಾಂತೀಯ ಆಂದೋಲನಗಳೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಪ್ರಸಾರವೂ, OX, OY, ಮತ್ತು OZ ಎಂಬ ಮೂರು ಪರಸ್ಪರ ಲಂಬವಾದ ನೇರಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಗುತ್ತವೆಂಬುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಪ್ರಕಟಿಸಿದ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಭೌತ ಕಲ್ಪನೆಗಳು ಅಷ್ಟೇನೂ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿಲ್ಲ. ಅವನ ಪ್ರಕಾರ, ಹೊರಗಣ ಹರವಿನಲ್ಲಿ

(space) ಅಸಂಕುಚನೀಯ ವಿದ್ಯುತ್ ತುಂಬಿದೆ. ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕದಲ್ಲಿ ಇದು ಸುಲಭವಾಗಿ ಚಲಿಸಬಲ್ಲುದು. ಇದೇ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹ. ವಿದ್ಯುತ್‌ನಿರೋಧಕದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪಲ್ಲಟವನ್ನು ವಿರೋಧಿಸತಕ್ಕ ಒಂದು ಬಲವಿದೆ. ವಿದ್ಯುತ್‌ಚಾಲಕ ಬಲವೆಂದರೇನೆಂಬುದಕ್ಕೂ ವಿದ್ಯುತ್‌ಉತ್ಪಾದನೆ (electrification) ಎಂದರೆ ಏನೆಂಬುದಕ್ಕೂ ಸರಿಯಾದ ವಿವರಣೆಯಿಲ್ಲ - ಈಗ ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಶೂನ್ಯ ಹರವಿನಲ್ಲಿ ಯಾವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯೂ ಇಲ್ಲ. ವಿದ್ಯುತ್‌ಅಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸಣ್ಣ ಕಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಅಂದರೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಗಳಲ್ಲಿ ಅದನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು.

ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದ ಕೀರ್ತಿಯು ಹರ್‌ಟ್ಜ್ (Hertz) ಗೆ ಸಲ್ಲಬೇಕು. 1887ರಲ್ಲಿ ಈತನು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆ, ಪ್ರತಿಫಲನ, ವಕ್ರೀಕರಣ, ವ್ಯತಿಕರಣವೆಂಬ ಅದರ ಮುಖ್ಯ ಲಕ್ಷಣಗಳು, ಮತ್ತು ಈ ಅಲೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಸಾರಮಾಡಿಸಿ, ನೂರಾರು ಅಡಿಗಳ ದೂರದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದ ಗ್ರಾಹಕ ಉಪಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಆ ಅಲೆಗಳನ್ನು ಗ್ರಹಣಮಾಡುವುದು–ಈ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳೂ ವಿಶದವಾಗಿ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟವು. ಇವರಿಂದ ಕೇವಲ ತಾತ್ತ್ವಿಕವಾಗಿ ಗಣಿತದ ಸಮೀಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಗಿಸಿದ್ದ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಆಧಾರವು ಕಲ್ಪಿತವಾಗಿ ಅದರ ಮಹತ್ವವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಿತು.

ಈಗ ನಮಗೆ ತಿಳಿದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಅಖಂಡ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲ (electromagnetic spectrum) ವು ಅತಿ ವಿಸ್ತಾರವಾದುದು. ದೃಶ್ಯಪಟಲಕ್ಕೆ ಸೇರಿದ ಭಾಗವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿದ್ದು ಊಧ ಅಂಚಿನಿಂದ ಕೆಂಪು ಅಂಚಿಗೆ ಹಬ್ಬಿರುತ್ತದೆ, ಈ ವರ್ಣಪಟಲಗಳ ವಿವಿಧ ಅಂಗಗಳಿಗೆ ಇರುವ ಮುಖ್ಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಅವುಗಳ ತರಂಗಾಂತರ (wave-lengths) ಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಎಲ್ಲಕ್ಕೂ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಸಾರವೇಗವೇ ($c = 3 \times 10^8$ ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್) ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ. ಅತ್ಯಂತ ಹೆಚ್ಚು ತರಂಗಾಂತರಗಳು ಸಾವಿರಾರು ಅಡಿಗಳಷ್ಟಿದ್ದು ಆಕಾಶವಾಣಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರವಾಗುವ ಅಲೆಗಳನ್ನು ಹೋಲುತ್ತವೆ. ಅತ್ಯಂತ ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರದ ಅಲೆಗಳು, Y– ಕಿರಣಗಳು, ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತವೆ ($\lambda = 10^{-14}$ ಮೀಟರ್‌ಗಳು). ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ವಿಶಾಲವ್ಯಾಪ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ ;

ರೇಡಿಯೋ	10^4 ಕಿ. ಮೀ. – 10^{-4} ಮೀ.
ರಕ್ತಾತೀತ (infra-red)	10^{-3} ಮೀ. – 7×10^{-7} ಮೀ.
ದೃಶ್ಯಪಟಲ	$7{\cdot}8 \times 10^{-7}$ ಮೀ. – $3{\cdot}8 \times 10^{-7}$ ಮೀ.

ನೀಲಾತೀತ	4×10^{-7} ಮೀ. – 10^{-8}ಮೀ.
X-ಕಿರಣಗಳು	10^{-8} ಮೀ, – 10^{-10} ಮೀ
γ-ಕಿರಣಗಳು	10^{-12} ಮೀ. – 10^{-14} ಮೀ.
ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು	10^{-14} ಮೀ. – —

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ನಡೆದಿರುವ ಮೂಲ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಆದ್ಯ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಫ್ಯಾರಡೆ ಮತ್ತು ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್‌ಗಳಿಗೆ ಕಲ್ಪಿಸಬಹುದು. ಆದರೂ ಈ ಇಬ್ಬರು ಮಹನೀಯರ ಜೀವನ ಮತ್ತು ಧ್ಯೇಯಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಸಂಗತಿಗಳು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತವೆ. ಫ್ಯಾರಡೆಯು ಬಡವರ ಕುಟುಂಬದಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿ ಬಡತನದಲ್ಲಿಯೇ ಬಾಳಿ ಬೆಳೆದನು. ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಆದರೋ ಆಗರ್ಭ ಶ್ರೀಮಂತರ ಕುಟುಂಬದಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿ, ಉಚ್ಚಾಶ್ರಯಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಬಾಳನ್ನು ಸಾಗಿಸಿದನು. ಫ್ಯಾರಡೆಯ ವಿದ್ಯಾಭ್ಯಾಸದ ದರ್ಜೆಯು ಹೆಚ್ಚುಮಟ್ಟದ್ದೇನೂ ಅಲ್ಲ. ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌-ವೆಲ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯುನ್ನತ ಪದವಿಗಳನ್ನು ಪಡೆದನು. ಫ್ಯಾರಡೆಯು ಪ್ರಪಂಚದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಶ್ರೇಣಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಥಮ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಪಡೆದಿರುವನು. ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಕೂಡ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಕಡೆ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಇಟ್ಟಿದ್ದರೂ ಕೂಡ, ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿರುವ ಪ್ರಮುಖ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಲ್ಲಿ ಅಗ್ರಸ್ಥಾನವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಾನೆ.

ಇಷ್ಟು ಗಣನೀಯವಾದ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿದ್ದರೂ, ಈ ಇಬ್ಬರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ ಮಾತ್ರ ನಮಗೆ ವಿದ್ಯುತ್-ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವದ ಅರಿವು ಉಂಟಾಗುವುದು. ಹೀಗಾಗಿ, ಕಾಂತತ್ವ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ದ್ಯುತಿ ವಿಜ್ಞಾನಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಒಂದು ಸಮಗ್ರ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೇ ನಮಗೆ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ರೂಪವು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

2.6 1890 ರಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ

ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಕ್ರೋಢೀಕರಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ತಳಹದಿಯಮೇಲೆ ರೂಪಿತವಾಗಬೇಕಾದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ಸ್ವರೂಪವು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುವುದು.

(i) ಅನಿಲಗಳ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ರಸಾಯನಶಾಸ್ತ್ರದ ಬೆಳವಣಿಗೆಗೆ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ತತ್ತ್ವವೆಂದರೆ, ಪರಮಾಣು ತತ್ತ್ವ (Atomic theory). ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳು ನಿರ್ಧಾರ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟವು; ಸಂಯುಕ್ತ ಅಣುಗಳ ಸೂತ್ರಗಳು ಕಲ್ಪಿತವಾದುವು. ಡಾಲ್ಟನ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಹಲವಾರು ಸಂಯೋಜನ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ,

ನೂರಾರು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಸ್ತುಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿ ಅವುಗಳ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳು ಗೊತ್ತಾದುವು. ಇದೇ ಈ ಶತಮಾನದ ಅತಿಮಹತ್ವದ ಸಾಧನೆ ಎನ್ನಬಹುದು.

ಅಣುಗಳ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿಕೊಂಡು ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್, ಬೋಲ್ಟ್ವಜ್‌ಮನ್ ಮುಂತಾದ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅನಿಲಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಚಲನ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ಸಂಶೋಧನೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದರು. ಅನಿಲಗಳ ಅಣುಗಳು ಅತಿ ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ, ಗಟ್ಟಿಯಾದ, ಗೋಲಾಕೃತಿಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದ ಚಲನ ಮಾಡುತ್ತಿರುತ್ತವೆ ಎಂಬುದೇ ಪ್ರಧಾನ ಕಲ್ಪನೆ. ಇವುಗಳು ಯದ್ವಾತದ್ವಾ ಅಡ್ಡಾಡುತ್ತಿರುವಾಗ, ಪರಸ್ಪರ ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಒಂದು ಆಧಾರ ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿಸಿದ್ದರೆ, ಕೋಟ್ಯಾಂತರ ಅಣುಗಳು ತಮ್ಮ ತಮ್ಮ ವೈಯಕ್ತಿಕ ವೇಗಗಳಿಂದ ಆ ಆವರಣದ ಗೋಡೆಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಈ ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಗೆ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಾಮಾನ್ಯ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಈ ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಆವೇಗ ಪರಿಮಾಣಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳ ದರವನ್ನು (rate of change of momentum) ಬಲವೆಂಬ ಅರ್ಥದಿಂದ ಅನಿಲಗಳ ಒತ್ತಡಕ್ಕೆ ಒಂದು ಹೊಸ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕೊಟ್ಟಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಬಾಯ್ಲ್ ನಿಯಮ, ಛಾರ್ಲ್ಸ್ ನಿಯಮ, ಆವಗಾಡ್ರೋ ನಿಯಮ ಮುಂತಾದ ಪ್ರಮುಖ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಅನಿಲದ ಸ್ಥಿತಿ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು (Equation of State) ರಚಿಸಬಹುದು.

ಇದರ ರೂಪವು $P = \frac{NKT}{V}$ ... 2.1

ಎಂದು ತಿಳಿದರೆ, K = ಬೋಲ್ಟ್ವಜ್‌ಮನ್ ನಿಯತಾಂಕ, V = ಅನಿಲದ ಗಾತ್ರ. ಈ ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಅಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ = N. T = ನಿರಪೇಕ್ಷಮಾನದ ಉಷ್ಣಾಂಶ (Absolute Temperature).

ಇದನ್ನೇ ಸ್ವಲ್ಪ ಪರಿವರ್ತನೆ ಮಾಡಿ,

$PV = n\ N_0KT = nRT$ ಎಂದು ಬರೆಯಬಹುದು ... 2.2

ಇಲ್ಲಿ ಅನಿಲದ ತೂಕವು nM ಆಗಿದ್ದು M = ಗ್ರಾಂ ಮಾಲಿಕ್ಯೂಲರ್ ತೂಕ (ಅಥವಾ 1 ಮೋಲ್) $R = N_0K$ = ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಅನಿಲನಿಯತಾಂಕ $N_0 = 1$ ಗ್ರಾಂ ಮೋಲ್‌ನಲ್ಲಿರುವ ಅಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ = ಆವಗಾಡ್ರೋ ಸಂಖ್ಯೆ.

$R = 8{\cdot}32 \times 10^7$ ಎರ್ಗ್/ಡಿಗ್ರಿ
$= 1{\cdot}987$ ಕ್ಯಾಲರಿ/ಡಿಗ್ರಿ
$N_0 = 6{\cdot}03 \times 10^{23}$ ಅಣುಗಳು (ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ಮೋಲ್‌ಗೆ)
$K = 1{\cdot}38 \times 10^{-16}$ ಎರ್ಗ್/ಡಿಗ್ರಿ ... 2.3

ಚಲನ ತತ್ತ್ವದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ರಚಿಸಿದ ಸೂತ್ರಗಳಿಗೂ ಅನಿಲಗಳ ವರ್ತನೆಗಳಿಗೂ ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯಾಗಿದ್ದರಿಂದ, ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಶತಮಾನದ ಮಧ್ಯಭಾಗದ ವೇಳೆಗೆ ಒಂದು ಗಣ್ಯತೆಯು ಬಂದಿತು. ಪರಮಾಣು ಮತ್ತು ಅಣುಗಳಿಗೆ ಒಂದು ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು ದೊರಕಿದಂತಾಯಿತು.

ಇದರಿಂದ ಉತ್ತೇಜನಗೊಂಡು ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಮತ್ತು ಬೋಲ್ಟ್‌ಜ್‌ಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಅನಿಲಗಳಲ್ಲಿ ವೇಗಗಳ ಪರಿಮಾಣಗಳ ಹಂಚಿಕೆಯ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಆರಂಭಿಸಿದರು. ಇದರಿಂದ ಸಾಂಖ್ಯಿಕ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ (Statistical Mechanics) ವೆಂಬ ದೊಡ್ಡ ವಿಭಾಗವೇ ಉದಯವಾಯಿತು. ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದ ಗಣಿತಶಾಸ್ತ್ರದ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ, ಹಲವಾರು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದರು. ಸಂಪೂರ್ಣ ಅನಿಲಗಳಲ್ಲದೆ ಸಾಮಾನ್ಯ ಅಥವಾ ಅಪೂರ್ಣ (general or imperfect) ಅನಿಲಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ನಿಯಮಗಳು ರಚಿತವಾದುವು. ಸ್ನಿಗ್ಧತೆ, ಉಷ್ಣವಾಹಕತ್ವ (viscosity, thermal conductivity) ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಗುಣಗಳ ಸಮಸ್ಯೆಗಳು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ಬಗೆಹರಿಯಲ್ಪಟ್ಟವು. ಅನಿಲಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಘರ್ಷಣೆಗಳ ನಡುವೆ ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿ ಚಲಿಸುವ ದೂರದ (free path) ಪ್ರಮಾಣವೂ ಸೂತ್ರ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತುಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಅನಿಲಗಳ, ಅಣುಗಳಗಾತ್ರ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ನಿರ್ಧರಿಸಲ್ಪಟ್ಟವು.

ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯವಾದ ಸಂಶೋಧನೆ ಎಂದರೆ, ಅನಿಲದ ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೂ ಅದರ ಅಣುಗಳ ಸರಾಸರಿ ವೇಗಗಳ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವ ಸೂತ್ರಗಳು. ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಹೆಚ್ಚಾದಂತೆಲ್ಲ, ಅಣುಗಳ ಸರಾಸರಿ ವೇಗವೂ ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ, ಅಣುಗಳ ಚಲನಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವು, ಉಷ್ಣಾಂಶದ ನಿರುಪಾಧಿಕಮಾನ ಪ್ರಮಾಣದಂತೆಯೇ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸೂತ್ರರೂಪದಲ್ಲಿ ಬರೆದರೆ,

1 ಗ್ರಾಂ ಮಾಲಿಕ್ಯೂಲ್ ತೂಕದ ಅನಿಲದಲ್ಲಿರುವ ಅಣುಗಳ ಒಟ್ಟು ಚಲನ ಶಕ್ತಿ

$E = 3/2\ RT$ ಆಗುತ್ತದೆ. ... 2.4

ಇದರಲ್ಲಿ ಇರುವ ಅಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು N_0 ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಅಣುವಿನ ಚಲನಶಕ್ತಿಯು

$$\frac{E}{N_0} = e = \frac{3}{2} \frac{R}{N_0} \cdot T = \frac{3}{2} KT \qquad \ldots\ 2.5$$

ಆಗುತ್ತದೆ.

ಒಂದೇ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅಣುಗಳ ಸಮೂಹವು (monatomic gas) ಅನಿಲದಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಒಂದೊಂದು ಅಣುವಿಗೂ ಮೂರು ಸ್ವತಂತ್ರ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರುವುದರಿಂದ, ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಇಂಥ ಅಣುವಿಗೆ ಮೂರು ಸ್ವತಂತ್ರ ಮಾತ್ರೆ (degrees of freedom) ಗಳಿರುವುದೆಂದು ಭಾವಿಸುತ್ತಾನೆ. ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ಕಲ್ಪನೆಯೇನೆಂದರೆ, ಈ ಮೂರು ಚಲನ ಸ್ವಾತಂತ್ರ್ಯಗಳ ನಡುವೆ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯು ಸಮವಾಗಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನೇ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ "ಶಕ್ತಿಯು ಸಮಭಾಜಕ ತತ್ತ್ವ" (equipartition of energy)ಯನ್ನು ರೂಪಿಸಿದನು. ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಇದು ಒಂದು ಪ್ರಧಾನ ಸ್ಥಂಭ. ಇದನ್ನು ಹೇಗೆ ಬದಲಾವಣೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗಿ ಬಂದಿತೆಂದು ಮುಂದೆ ತಿಳಿಸಲಾಗುವುದು.

ಪ್ರಕೃತದಲ್ಲಿ ಈ ಮೂಲ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ಅನಿಲದ ಅಣುವಿಗೆ ಒಂದು ಸ್ವಾತಂತ್ರ್ಯ ಮಾತ್ರ (degree of freedom) ಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು $\frac{3/2\ KT}{3} = \frac{1}{2} KT$ ಆಗುತ್ತದೆ. ... 2.6

ಒಂದು ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯೊಂದಿಗೆ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿ (potential energy) ಯನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕಾದಾಗ, ಅಂದರೆ ಒಂದು ಸರಳ ಸಾಂಗತಿಕ ಚಲನೆ (Simple harmonic motion)ಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯ ಒಟ್ಟು ಪ್ರಮಾಣವು KT ಆಗುತ್ತದೆ.

ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಮುಂದುವರೆಸಿ, ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣಕ್ಕೂ (Specific heat) ಸೂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಬಹುದು. ಏಕಪರಮಾಣು ಅನಿಲಗಳಿಗೆ, $C_v = \frac{3}{2} R$ ಎಂಬ ಸೂತ್ರ ಬರುತ್ತದೆ.

ಡ್ಯೂಲಾಂಗ್ – ಪೆಟಿಟ್ ನಿಯಮಕ್ಕೂ ಸ್ವಲ್ಪಮಟ್ಟಿನ ಸಮರ್ಥನೆಯು (ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ) ದೊರಕುತ್ತದೆ.

ಘನವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅಣುವಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣವು 3 K ಆಗುತ್ತದೆ. (ಆರು ಸ್ವತಂತ್ರ ಮಾತ್ರಗಳಿಗೆ, ಒಂದೊಂದು ಮಾತ್ರಕ್ಕೂ $\frac{1}{2}$ K ಅಂಕೆ ; $6 \times \frac{1}{2} K = 3 K$).

ಒಂದು ಗ್ರಾಂ ಆಟಂನ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣವನ್ನು 'ಪರಮಾಣು ಉಷ್ಣ' (Atomic Heat) ಎಂದು ಕರೆದರೆ, [ಪರಮಾಣುಶಾಖ = ಪರಮಾಣುತೂಕ × ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣ).

ಇದರ ಮೌಲ್ಯವು $3\ N_0K = 3R$ ಆಗಬೇಕು.

ಅಂದರೆ ಸುಮಾರು 6 ಕ್ಯಾಲರಿ/ಗ್ರಾಂ ಆಟಂ ಆಗಬೇಕು. ಇದು ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚು ಕಡಮೆ ಡ್ಯೂಲಾಂಗ್ ಪೆಟಿಟ್‌ನಿಯಮವನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ.

ಸಾಮಾನ್ಯ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಪರಮಾಣು ಉಷ್ಣದ ಬೆಲೆಯು 5.38 ರಿಂದ 6.93 ಕ್ಯಾಲರಿಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿದ್ದು ಸರಾಸರಿ ಮೌಲ್ಯವು 6.15 ಆಗುತ್ತದೆ.

ಆದರೆ ಈ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಪ್ರಬಲವಾದ ಅಪವಾದಗಳು ಇವೆ.

ಬೋರಾನ್	3.34
ಬೆರಿಲಿಯಂ	3.85
ವಜ್ರ (ಇಂಗಾಲ)	1.46
ಸಿಲಿಕಾನ್	4.95

ಈ ವಸ್ತುಗಳ ವಿಷಯವಾಗಿ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟವು. ಇವುಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣಗಳೂ, ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಇಳಿದಂತೆಲ್ಲ ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತವೆ.

ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ, ಮತ್ತು ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ರೂಪಿಸಿದ ಸಮಹಂಚಿಕೆಯ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣಕ್ಕೂ ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವೂ ಇರಕೂಡದು. ಆದರೆ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಅರ್ಥವೇ ಬೇರೆಯಾಯಿತು. ಆದುದರಿಂದ ಆ ಹಳೆಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬೇಕಾದ ಪ್ರಮೇಯವು ಒದಗಿತು. ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್, ಡಿಬೈ (Einstein, Debye) ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಈ ವಿಚಾರವನ್ನು ಕೂಲಂಕಷವಾಗಿ ವಿಮರ್ಶೆಮಾಡಿದರ ಫಲವಾಗಿ, ಸಮಭಾಜಕ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅನೇಕ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಕೈಬಿಡಬೇಕಾದ ಸನ್ನಿವೇಶವು ಉಂಟಾಯಿತು. ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ರಚಿಸಿದ ಸಮೀಕರಣಗಳಿಗೂ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೂ ಸಾಮರಸ್ಯವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲಾಯಿತು.

(ii) ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥದ ವಿಕಿರಣ (Black-Body Radiation)

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ದ್ವಿತೀಯಾರ್ಧದಲ್ಲಿ, ಪೂರ್ಣ ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಿನ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಿಗೆ ಏರಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳಿಂದ ಹೊರ ಬೀಳುವ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧದ ವಿಷಯವಾಗಿ ಕೂಲಂಕಷವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಇಲ್ಲಿ 'ಕಪ್ಪುಪದಾರ್ಥ' ಎಂಬುದು ಒಂದು ಪಾರಿಭಾಷಿಕ ಪದ. ಯಾವ ಪದಾರ್ಥವು ತನ್ನ ಮೈಮೇಲೆ ಬೀಳುವ ಎಲ್ಲ ವಿಧವಾದ ಉಷ್ಣವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಗ್ರಹಣ ಮಾಡುತ್ತದೆಯೋ ಅದಕ್ಕೆ 'ಕಪ್ಪುಪದಾರ್ಥ'ವೆಂದು ಹೆಸರಿಡಲಾಗಿದೆ.

ಇಂಥ 'ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥ'ವನ್ನು T° A ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೆ ಏರಿಸಿದರೆ, ಅದರಿಂದ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣದ (ಒಟ್ಟು) ದರವು E ಆದರೆ

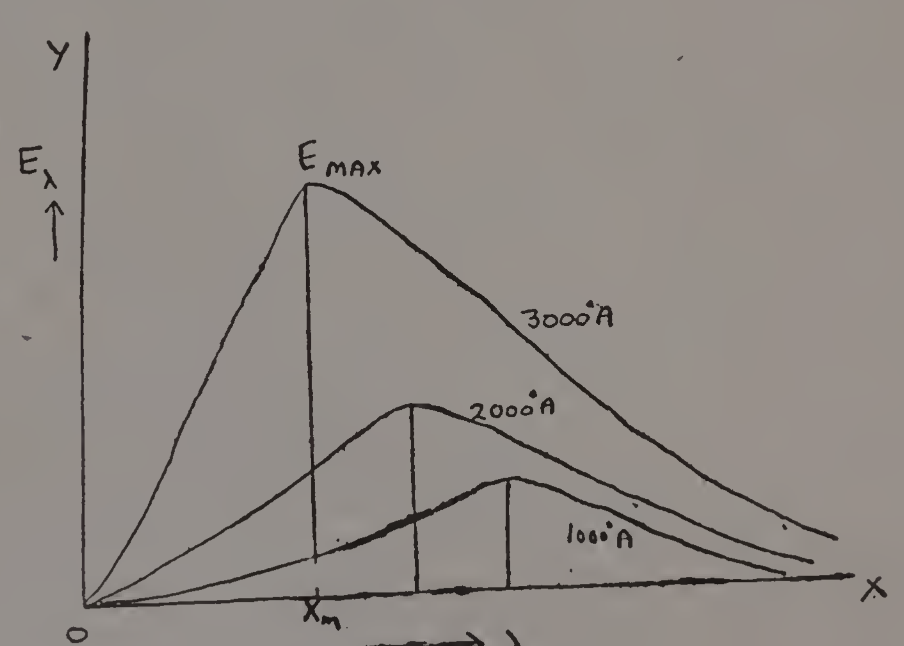
$$E = K \cdot T^4 \qquad \ldots \quad 2.7$$

ಎಂಬ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಸ್ಟೀಫನ್–ಬೋಲ್ಟ್‌ಜ್‌ಮನ್ (Stefan-Boltzmann Law) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಇದಕ್ಕೆ ತಕ್ಕಮಟ್ಟಿಗೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಬೆಂಬಲವು ದೊರಕಿತು.

ಇಲ್ಲಿ E = ವಸ್ತುವಿನ ಒಂದು ಚದರ ಸೆಂ. ಮೀ. ಕ್ಷೇತ್ರಫಲದಿಂದ ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಕ್ಯಾಲರಿಗಳ ಪ್ರಮಾಣ.

$K = 5 \cdot 7 \times 10^{-5}$ ಎರ್ಗ್/ಚದರ ಸೆಂ. ಮೀ $= 1 \cdot 36 \times 10^{-12}$ ಕ್ಯಾಲರಿ/ಚದರ ಸೆಂ. ಮೀ. ಇದೇ ವಿಷಯವಾಗಿ ಮತ್ತೊಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ಕಪ್ಪುಪದಾರ್ಥದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು ವಿವಿಧ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ನಡುವೆ ಯಾವ ರೀತಿಯಾಗಿ ಹಂಚಿರುತ್ತದೆ ಎಂಬುದೇ ಈ ಪ್ರಶ್ನೆ. ಅಂದರೆ, ವಿಕಿರಣ ಪಟಲದಲ್ಲಿ (distribution of energy in the black-body spectrum) ವಿವಿಧ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಗೂ ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧ ರೇಖೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವೇನು ?

ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯಗಳು ಗೊತ್ತಾದುವು



ಚಿತ್ರ 2.1 ಕಪ್ಪುಪದಾರ್ಥದ ವಿಕಿರಣದ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿ ಹಂಚಿಕೆ

$\lambda, (\lambda + d\lambda)$ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು E_λ ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ, $E_\lambda - \lambda$ ಗಳ ನಡುವಣ ರೇಖೆಗಳು ವಿವಿಧ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದಂತೆ ಇರುತ್ತವೆ (ಚಿತ್ರ 2.1).

(i) ಒಂದೊಂದು ಉಷ್ಣಾಂಶದಲ್ಲಿಯೂ, E_λ ಪ್ರಮಾಣವು ಒಂದು ಉಚ್ಚ ಪ್ರಮಾಣದವರೆಗೂ ಏರಿ ನಂತರ ಅಧೋಮುಖವಾಗುತ್ತದೆ.

(ii) ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ E_{max} ಪ್ರಮಾಣವೂ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ.

(iii) λ_m ಎಂಬುದು E_{max}ಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ತರಂಗಾಂತರವಾದರೆ, ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವು, ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ, ಕಡಮೆ ತರಂಗ ದೂರದ ಕಡೆ ಸರಿಯುತ್ತದೆ.

ಸಮಭಾಜಕತತ್ತ್ವದ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ರ್‍ಯಾಲೆ–ಜೀನ್ಸ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಒಂದು ಸೂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದರು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ

$$E_\lambda = 8\pi KT\lambda^{-4} \qquad \ldots \quad 2.8$$

ಇದರಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದು ಸಂಭವನೀಯ ಆಂದೋಲನದ ಮಾದರಿಗೂ (mode of vibration) ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವು KT ಎಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿದೆ. ಮತ್ತೊಂದು ನಿಯಮವನ್ನು ವೀನ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಇದು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ :

$$\lambda_m T = \text{ನಿಯತಾಂಕ} \qquad \ldots \quad 2.9$$

ಈಗ ರ್‍ಯಾಲೆ ಸೂತ್ರವನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಿದರೆ, ತರಂಗಾಂತರವು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವಾಗ, ಸೂತ್ರಕ್ಕೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೂ ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ರೇಖೆಯು E_{max} ಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಅಂದರೆ, ಕಡಮೆ ತರಂಗ ದೂರಗಳ ಕಡೆ, ಸೂತ್ರವು ಮುರಿದು ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಉಚ್ಚ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಅವಕಾಶವೇ ಇಲ್ಲ. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾದ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇನೆಂದರೆ, ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ, ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವು (ಸಮಗ್ರ ತರಂಗಾಂತರಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ) ಅನಂತವಾಗಬೇಕು (infinite) ! ಇದೊಂದು ಅಸಾಧ್ಯ ಹಾಗೂ ವಾಸ್ತವಕ್ಕೆ ದೂರವಾದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಈ ವಿಷಯವು ಸಮಭಾಜಕ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಮತ್ತೊಂದು ತೊಡಕನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಿತು. ಇದನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲು ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಬೇಕಾಯಿತು.

(iii) ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಬೆಳಕು ತರಂಗ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕೆಂದೂ ಅದು ದೊಡ್ಡ ಅಲೆಗಳ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರಬೇಕೆಂದೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಬೆಳಕನ್ನೂ ವಿದ್ಯುತ್-ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಗುಂಪಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ತರಂಗಾಂತರ ಅವಧಿಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲಾಯಿತು.

ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ದೊರಕಿಸುವಂತೆ 1888ರಲ್ಲಿ ಹರ್ಟ್ಜ್ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಆಧಾರವನ್ನು ಕೊಟ್ಟನು. ಬಹಳ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ವಿಷಯವು ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿಯೇ ' ಹರ್ಟ್ಜ್‌ಮಾಡಿದ ಇನ್ನೂ ಕೆಲವು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳಿಗೆ ಕಾರಣಭೂತವಾಗಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವಣ ಕಿಡಿ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ (spark gap) ನೀಲಾತೀತ ಬೆಳಕನ್ನು ಬೆಳಗಿಸಿದರೆ, ಕಿಡಿಯು ಹಾರುವ ದೂರವು ಹೆಚ್ಚಾದಂತೆ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಹಾಲ್‌ವಾಕ್ಸ್ (Hallwachs) ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ನೀಲಾತೀತ ಬೆಳಕನ್ನು ಬೆಳಗಿಸಿದರೆ, ಅದು ತನ್ನ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಆ ವಸ್ತುವು ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ ಅದರ ಮೇಲೆ ಬೆಳಕು ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಉಂಟು ಮಾಡುವುದಿಲ್ಲ.

ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇದೊಂದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಸಂಘಟನೆ. ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಸಂಭವ (phenomenon) ವನ್ನು ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ (photo-electric effect) ಯೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಬೆಳಕಿನಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಇದು ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ವಿಧಾನವಾಯಿತು. ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತದಿಂದ ವಿವರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲೇ ಇಲ್ಲ. ಅಂದರೆ ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೂ, ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೂ ಇದು ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ತಡೆ (obstacle) ಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿತು. ಇದನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲೂ ಕೂಡ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಶರಣು ಹೋಗಬೇಕಾಯಿತು.

ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಒಬ್ಬನೇ ವಿಜ್ಞಾನಿ (Hertz) ಹರ್ಟ್ಜ್‌ನಿಂದ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯೂ ಆ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ವಿರೋಧವಾದ ಸಂಭವವೂ ಗೊತ್ತುಬಂದವು. ಇದೊಂದು ಪ್ರಕೃತಿಯ ಲೀಲೆ !

(iv) **ವರ್ಣಪಟಲ ವಿಜ್ಞಾನ** (spectroscopy)

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾದ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಬೆಳಕನ್ನು ಹೊರಸೂಸುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿ, ಆ ಬೆಳಕನ್ನು ವರ್ಣಪಟಲಮಾಪಕ (spectroscopes) ಗಳ ಮೂಲಕ ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಿದರೆ, ವರ್ಣಪಟಲದ ವಿವಿಧ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವರ್ಣರೇಖೆಗಳು ಕಂಡು ಬರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳನ್ನು ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾಗಿ ಅಳೆದು ತೋರಿಸಲಾಯಿತು. ಸೂರ್ಯನ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿಯೇ ಕಾಣಬರುವ ಸಾವಿರಾರು ಕಪ್ಪು ರೇಖೆಗಳ (dark lines) ತರಂಗಾಂತರಗಳನ್ನೂ ನಿರ್ದೇಶಿಸಲಾಯಿತು. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ರಚನೆಗೂ ಅದು ವಿಕಿರಣಗೊಳಿಸುವ ವರ್ಣಪಟಲದ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೂ ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಸೋಡಿಯಂ ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳು 5890×10^{-8} ಸೆಂ. ಮೀ. ಮತ್ತು 5896×10^{-8} ಸೆಂ. ಮೀ. ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ $H\alpha$, $H\beta$, ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳು 6563×10^{-8} ಸೆಂ. ಮೀ. 4861×10^{-8} ಸೆಂ.ಮೀ. ಇತ್ಯಾದಿ.

ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ನಿಯಮವನ್ನೂ ರಿಡ್‌ಬರ್ಗ್, ಬಾಮರ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು.

1885ರಲ್ಲಿ ಬಾಮರ್, ಜಲಜನಕದ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ನಿಯಮವನ್ನು ಹೀಗೆ ಸೂಚಿಸಿದನು:

$$\lambda = 3645 \cdot 6 \frac{n^2}{n^2 - 4} \text{ (ಆಂಗ್‌ಸ್ಟ್ರಾಂಮ್‌ಮನಗಳಲ್ಲಿ)} \quad \ldots \quad 2.1^0$$

$n = 3,4,5$ .... ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ ಬರುವ ತರಂಗಾಂತರ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಜಲಜನಕದ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಸರಿಯಾಗಿ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತವೆ.

ಪ್ರಯೋಗದ ಆಧಾರಗಳು ಹೀಗಿರುವಾಗ ಇವುಗಳಿಗೆ ಸಮಂಜಸವಾದ ಬೆಳಕಿನ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ರೂಪಿಸುವ ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ವಿಫಲವಾದುವು, ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರುವ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವೇ ಇಲ್ಲ. ವರ್ಣಪಟಲದ ರಚನೆಯು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿದ್ದು (continuous) ಎಲ್ಲ ತರಂಗದೂರಗಳನ್ನೂ ಅಡಗಿಸಿರಬೇಕು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಬೇರೊಂದು ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅವಶ್ಯಕತೆಯು ತೋರಿಬಂದಿತು, ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಮೂಲಕ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.

(v) ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯಸ್ವರೂಪ

ವಿದ್ಯುತ್-ಕಾಂತಶಕ್ತಿಗಳ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಫ್ಯಾರಡೇ ಮತ್ತು ಮಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪರಿಶ್ರಮದಿಂದ ಅಪಾರವಾದ ಜ್ಞಾನವು ಲಭಿಸಿತಾದರೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯ ಮೂಲರೂಪದ ವಿಚಾರದಲ್ಲಿ ಸಮಂಜಸವಾದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ರೂಪಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ, ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಫ್ಯಾರಡೆ ಮಾಡಿದ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ (electrolysis) ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಸ್ವಲ್ಪ ಸೂಚನೆ ಬಂದಿತು. ಆದರೆ, ಇದನ್ನು ಆ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಿಲ್ಲ.

ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯ ಮೂಲರೂಪವನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಅದೂ ಕೂಡ ಪರಮಾಣು ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆಯೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಶತ ಮಾನದ ಅಂತ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾದ ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಹೊರ ಬೀಳುವ ವರೆಗೂ ಕಾಯಬೇಕಾಯಿತು.

2.6 ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವು ಎದುರಿಸಬೇಕಾದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ತೊಡಕುಗಳು

ಇದುವರೆವಿಗೂ ಕ್ರೋಡೀಕರಿಸಿದ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಸಮಗ್ರವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿ ಸಿದರೆ, ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಕಾಣಲಾದ ಅಪಾರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ಪ್ರಗತಿ ಯಿಂದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಒಂದು ತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ಮನೋಭಾವವು ಕಲ್ಪಿತವಾಯಿತು. ಆದರೆ ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಬಹಳ ಅಲ್ಪಕಾಲದ್ದಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿತು. ಇವಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ಗಳು ಎರಡು. ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ, ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಂಪ್ರದಾ ಯಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ನೇರವಾಗಿ ವಿರೋಧವನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು.

(i) ಉಷ್ಣವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ರೂಪಿಸಿದ ಸಮಭಾಜಕತತ್ತ್ವವು ಘನವಸ್ತುಗಳ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣದ ವಿಷಯವನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಅಸಮರ್ಥವಾಯಿತು.

(ii) ವಸ್ತುಗಳ ಉಷ್ಣವಿಕಿರಣಶಕ್ತಿಯ ಹಂಚಿಕೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗ ಗಳಿಗೂ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೂ ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯಿರಲಿಲ್ಲ.

(iii) ತರಂಗಸಿದ್ಧಾಂತವು ಚೆನ್ನಾಗಿ ಬೇರೂರಿದ್ದಾಗ, ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳೂ, ವರ್ಣಪಟಲ ವಿಜ್ಞಾನವೂ ಬೆಳಕಿನ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಸ್ವರೂಪವಿರಬೇಕಾದುದು ಎಂದು ಸಂಶಯ ಬಂದಿತು.

(iv) ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯೂ ಕೂಡ ದ್ರವ್ಯದಂತೆಯೇ ಪರಮಾಣು ಸ್ವರೂಪ ವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕೆಂಬ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಆಧಾರಗಳು ದೊರೆತವು.

ಸಂತೃಪ್ತ ಮನೋಭಾವಕ್ಕೆ ಭಂಗತರುವಂತೆ 1895–1900 ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಹಲವು ಮೂಲಪ್ರಯೋಗಗಳು ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟು ಅವುಗಳನ್ನು ಸಮಂಜಸವಾಗಿ ಸಮರ್ಥಿಸಲು ಅತ್ಯಗತ್ಯವಾಯಿತು.

ಹೀಗಾಗಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಮನಸ್ಸಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಅಂಧಕಾರ ಕವಿದಂತಾಯಿತು.

2.7 1895-1900 ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಅರುಣೋದಯ

ಮೋಡಗಳು ಆಕಾಶದಲ್ಲಿ ದಟ್ಟವಾಗಿದ್ದು ಕಲಂಕವು ಏರ್ಪಟ್ಟಾಗ, ಒಂದು ರಜತ ರೇಖೆಯು ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುವೋಪಾದಿಯಲ್ಲಿ, ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದ ಐದು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವಾದ ಕಡೆಗಳಿಂದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು. ಇವು ಎಷ್ಟು ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವೋ ಅಷ್ಟೊ ಸಮಯೋಚಿತವಾದುವುಗಳಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದುವು.

1895. ನಿರ್ವಾತ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಒತ್ತಡದ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವವನ್ನು (high potential difference) ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದಾಗ ಅತ್ಯಾಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸಂಗತಿಗಳು ಗೋಚರವಾದುವು. ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವು 10^{-3}, 10^{-4} ಮಿ.ಮೀ. ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವಾಗ, ಇಡೀ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೊಳಪು ಉದ್ಭವ (fluorescence) ವಾಗಿ, ನಂತರ ಕಡಮೆ ಒತ್ತಡಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಆ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೇ, ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವದಿಂದ ನೇರಾಗಿ ಹೊರಸೂಸುವ ಚೂಪಾದ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರವಾಹವು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಅದನ್ನು ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳ ವೇಗವು ಅಪಾರವಾದುದು. ಇವುಗಳ ಜಡಾಂಶವೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವೂ (ಋಣ) ಹೀಗಿರುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಯಿತು :

$$e = \text{ವಿದ್ಯುದಂಶ (ಋಣ)} = 4.8 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$$
$$m = \text{ಜಡಾಂಶ} = 9 \times 10^{-31} \text{ kg.} \quad \ldots \quad 2.11$$

ಇದನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ಹಗುರವೆಂದು ಎಣಿಸಲಾಗಿದ್ದ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, $m = \frac{1}{1840}$ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು ತೂಕ

ಅಂದರೆ, ಜಡಾಂಶದ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಮಿತಿಯು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಸುಮಾರು $\frac{1}{1840}$ ಭಾಗವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಅತಿ ಕನಿಷ್ಟವೆಂದು ತಿಳಿದು ಬಂದಿತು. ಇದನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಎಂದು (electron) ಕರೆದರೆ ಇದು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ವಸ್ತು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ಪರಮಾಣುತ್ವದ ಸ್ವರೂಪವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುವು ಅಭೇದ್ಯವೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದ ಭಾವನೆಗೆ ಮೊದಲನೆಯ ತೊಡಕು ಸಂಭವಿಸಿತು.

1895. X–ಕಿರಣಗಳು

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ನಿರ್ವಾತನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಭಾರವಾದ ಒಂದು ಲಕ್ಷ್ಯ (target) ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ತೀಕ್ಷ್ಣವೇಗದಿಂದ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದರೆ ಆ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ X–ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನು ರಾಂಟ್‌ಜೆನ್ ಎಂಬ ಜರ್ಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದನು. ಇವುಗಳು ಅದೃಶ್ಯ ಬೆಳಕಿನಂತೆ (invisible light) ವರ್ತಿಸಿ, ಅದರ ತರಂಗ ದೂರಕ್ಕಿಂತ ಸಮಾರು $\frac{1}{1000}$ ಭಾಗದಷ್ಟು ಇರುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಇದೊಂದು ಮಹತ್ವಪೂರಿತ ಸಂಶೋಧನೆ.

1896. ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ

ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಬೆಕ್ಕರಲ್ (1852-1908) ಅತ್ಯಂತ ಹೆಚ್ಚಿನ ತೂಕದ ವಸ್ತುವಾದ ಯುರೇನಿಯಂ (ಪರಮಾಣುತೂಕ=238) ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸುತ್ತಿರುವಾಗ 1896ರಲ್ಲಿ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವಾದ ಸಂಭವವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಇದೇನೆಂದರೆ, ಈ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದ ಯಾವುದೋ ಬಗೆಯ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು, ಅವುಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ, ಛಾಯಾಚಿತ್ರದ ತಟ್ಟೆಗಳು (photographic plate) ಕೆಟ್ಟು ಹೋಗುತ್ತವೆ ಮತ್ತು ಆ ಕಿರಣಗಳು ದಪ್ಪವಾದ ಕಪ್ಪು ಕಾಗದದ ಹಲವಾರು ಪದರಗಳನ್ನು ಹಾಯ್ದು ಹೋಗುವ ಶಕ್ತಿ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ಗುಣವನ್ನು ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು 83-92 ಅವಧಿಯಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳೂ ಕೂಡ ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆ. ಇದೊಂದು ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಘಟನೆ. ಈ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳು ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ, ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತವಾಗಿ ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೊಂಡು, ಅವುಗಳಿಂದ ಮೂರು ವಿಧವಾದ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು α, β ಮತ್ತು γ ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. α-ಕಿರಣಗಳು ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ, β-ಕಿರಣಗಳು ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ, γ-ಕಿರಣಗಳು ಅತಿಶಕ್ತಿಯುತವಾದ ವಿಕಿರಣದ ಗುಣವನ್ನೂ ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆ. α-ಕಿರಣಗಳು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನೂ, β ಕಿರಣಗಳು ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನೂ ಹೊಂದಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತತ್ವ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಮಾರ್ಗ ಪಲ್ಲಟಗಳನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. γ-ಕಿರಣಗಳು ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದ X-ಕಿರಣಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ.

ಈ ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯನ್ನು ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಕೇಂದ್ರಗಳ ಶಿಥಿಲತೆ (disintegration) ಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. 1898 ರಲ್ಲಿ ಕ್ಯೂರಿ ದಂಪತಿಗಳಾದ ಪಿಯರ್ ಮತ್ತು ಮೇರಿ ಕ್ಯೂರಿಗಳು ಪಿಚ್‌ಬ್ಲೆಂಡ್ (pitch-blende) ಎಂಬ ಅದುರಿನ ಒಂದು ಟನ್ ತೂಕದ ಗಟ್ಟಿಯನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು, ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಆ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಮೂಲಭೂತವಾಗಿರುವ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿದ್ದ ರೇಡಿಯಂ (radium) ಎಂಬ ವಸ್ತುವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿದರು. ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಈ ವಸ್ತುವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ವಿಧಾನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾಗಿದ್ದು, ವೈಜ್ಞಾನಿಕನಿಗೆ ಇರಬೇಕಾದ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಮಟ್ಟದ ಕುಶಲತೆ, ಆಶಾಭಾವನೆ, ಸಾಹಸ ಮತ್ತು ಸಹನೆಗೆ ಆದರ್ಶಪ್ರಾಯವಾಗಿದೆ. 1903 ರಲ್ಲಿ ಈ ದಂಪತಿಗಳಿಗೆ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವು ಲಭಿಸಿದುದು ಸಹಜವಾಗಿರುತ್ತದೆ. 1906ರಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಒಂದು ಅಪಘಾತದ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಪಿಯರ್ (Pierre-Curie) ಮಡಿದನು. ಪತಿ ವಿಯೋಗದಿಂದ ಉಂಟಾದ ದುಃಖವನ್ನು ಅನುಭವಿಸುತ್ತಿದ್ದರೂ, ಮೇರಿ ಕ್ಯೂರಿಯು ಧೈರ್ಯಗುಂದದೆ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರೆಸುತ್ತ ಹಲವಾರು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಕಟನೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದಳು. ಇವುಗಳಿಗಾಗಿ ಆಕೆಗೆ ಮತ್ತೆ 1911 ರಲ್ಲಿ ರಸಾಯನ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವು ದೊರಕಿತು. ಹೀಗೆ ಎರಡು ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನಗಳನ್ನು ಪಡೆಯುವ ಅರ್ಹತೆಯಿರಬೇಕಾದರೆ ಆ ವೀರ ಮಹಿಳೆಯ ಪ್ರತಿಭೆ ಅಸಾಧಾರಣವಾದುದೆಂದು ಹೇಳಬೇಕಾಗಿಲ್ಲ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಈ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಅಧ್ಯಾಯಕ್ಕೆ ದಾರಿ ಮಾಡಿದುವು. ಇದರಿಂದಲೂ, ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವು ಅಭೇದ್ಯವಲ್ಲವೆಂದೂ ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು ರಚನೆ ಇರಬೇಕೆಂದೂ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಯಿತು.

1900. ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಿಗೆ ಏರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಉಷ್ಣವಿಕಿರಣದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಹಂಚಿಕೆಗಳು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವವಾದ ಸಮಭಾಜಕತ್ವದ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ವಿರೋಧ ವರ್ತನೆಯನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆ. ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೂ ತತ್ತ್ವ ನಿರೂಪಣೆಗೂ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಕಂಡುಬಂದಾಗ, ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಧಾನ್ಯತೆಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟು ತದ್ವಿರುದ್ಧವಾದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕೈಬಿಡಬೇಕಾದ ಪ್ರಸಂಗ ಒದಗಿತು. ಈ ಸಂದಿಗ್ಧ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ಲಾಂಕ್ (Planck) ಎಂಬ ಜರ್ಮನ್

ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ದಿಟ್ಟತನದಿಂದ ತನ್ನ ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದನು. ಇದೇ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ. ಪ್ಲಾಂಕ್ (1858–1947) ಕೀಲ್ ಪಟ್ಟಣದಲ್ಲಿ 1858 ರಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿ, ತನ್ನ ವಿದ್ಯಾಭ್ಯಾಸವನ್ನು ಮ್ಯೂನಿಚ್ ಮತ್ತು ಬರ್ಲಿನ್ ನಗರಗಳಲ್ಲಿ ಮುಂದುವರೆಸಿದನು. ಉಷ್ಣಬಲಕ್ರಿಯಾಶಾಸ್ತ್ರ (Thermodynamics) ಮತ್ತು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಗಳಲ್ಲಿಯೇ ಇವನಿಗೆ ಹೆಚ್ಚು ಆಸಕ್ತಿ. ಇವನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗಾಗಿ 1918 ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವು ಈತನಿಗೆ ದೊರಕಿತು.

ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಮುಖ ಕಲ್ಪನೆಯು ಹೀಗಿದೆ. ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಅಸಂಖ್ಯಾತ ಕಣಗಳು ಆಂದೋಳನಗಳನ್ನು ಮಾಡುತ್ತಲಿದ್ದು ಈ ಆಂದೋಳನಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (frequency) ಗಳು ಯಾವ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಬೇಕಾದರೂ, ವಿಶಾಲವಾದ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ, ಹೊಂದಿರಲು ಸಾಧ್ಯ. ಯಾವುದೇ ಒಂದು ಕಣದ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು (ν) ಏನೇ ಆದರೂ, ಅದರ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಮಾತ್ರ ಕೆಲವೇ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರಲು ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು E ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ

$$E = n h \nu \qquad \ldots \quad 2{\cdot}12$$

ಇಲ್ಲಿ ν = ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ; n = 1, 2. 3,... (ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ) ಅಂದರೆ, ಪೂರ್ಣಾಂಕ; h= ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ.

ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದು ಆಂದೋಳಕದಿಂದ (oscillator), ಶಕ್ತಿಯು ವಿಕಿರಣವಾದರೆ, ಅದರ ಪ್ರಮಾಣಗಳು, hν, 2hν, 3hν, ಮಾತ್ರ ಮೌಲ್ಯಗಳಿರುವ ಮೊತ್ತ (quanta) ಗಳಾಗಿರಬಹುದೇ ಹೊರತು ಬೇರೆ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲ.

ಈ ಕ್ವಾಂಟಂ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಪ್ಲಾಂಕ್ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿ (E) ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದನು. ಅದರ ರೂಪವು ಹೀಗೆ ಇರುತ್ತದೆ.

$$E = \frac{8\pi hc}{\lambda^5 \left(\epsilon^{\frac{hc}{\kappa\lambda\tau}} - 1\right)} \qquad \ldots \quad 2{\cdot}13$$

c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ = 3×10^8 ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್

h = ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ = $6{\cdot}62 \times 10^{-34}$ ಜೂಲ್/ಸೆಕೆಂಡ್

ϵ = 2·7183

K = $1{\cdot}38 \times 10^{-23}$ ಜೂಲ್/$^\circ$A (ಬೋಲ್ಟ್ಜ್‌ಮನ್ ನಿಯತಾಂಕ)

λ = ತರಂಗಾಂತರ

T = ಉಷ್ಣಾಂಶದ ನಿರಪೇಕ್ಷ ಮೌಲ್ಯ

ಈ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ $E-\lambda$ ಗಳ ನಡುವಣ ಸಂಬಂಧ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ರಚಿಸಿದರೆ, ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ರೇಖೆಗಳಿಗೂ, ಸಮೀಕರಣದ ರೇಖೆಗಳಿಗೂ ಎಲ್ಲ ತರಂಗಾಂತರ ಅವಧಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಾಮರಸ್ಯವು ಏರ್ಪಟ್ಟಿರುತ್ತದೆ.

ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ರ್‍ಯಾಲೆ-ಜೀನ್ಸ್ ರಚಿಸಿದ ಸಮೀಕರಣಗಳು ಕುಸಿದುಬಿದ್ದುದನ್ನು ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಿದ್ದೇವೆ. λ ಮೌಲ್ಯಗಳು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವಾಗ ಮಾತ್ರ ಸ್ವಲ್ಪ ಸಮರ್ಥನೆಯಿದ್ದು ಉಳಿದ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಅವುಗಳು ವಿಫಲವಾದುವು. ಪ್ಲಾಂಕ್ ರಚಿಸಿದ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರಕಿದ್ದರಿಂದ ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯ ಬಂದಿತು. ಹಳೆಯ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಶಕ್ತಿಯು ಅಖಂಡ ಸ್ವರೂಪದ್ದು ; ಆದರೆ, ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಅದರ ಸ್ವರೂಪವು ವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿದು ಬಂದಿತು. ಇದೊಂದು ಕ್ರಾಂತಿಕರವಾದ ಘಟನೆ.

20ನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಎತ್ತಿಹಿಡಿದುವು. ಪ್ರಾಚೀನ ಅಥವಾ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ತತ್ತ್ವಗಳಿಗೆ ಮನ್ನಣೆ ಕಡಮೆಯಾಗಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಕೈಬಿಡುವ ಸಂದರ್ಭಗಳು ಒದಗಿದುವು.

1895–1900. ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಹೊಸ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಿದರೆ, ನಾವು ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಒಂದು ಹೊಸಯುಗವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿದಂತೆ ಭಾಸವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂಭವಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಪ್ರಚಲಿತವಾಗಿದ್ದ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವಗಳು ವಿಫಲಗೊಂಡವು. ಅವುಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಲು, ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದಲ್ಲಿ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವಾಗಿ ಪ್ರಕಟಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳೇ ಮಾರ್ಗದರ್ಶಕಗಳಾದುವು.

ಈ ಹೊಸ ಬೆಳವಣಿಗೆಗೆ ಕಾರಣಭೂತವಾದ ಮೂಲ ತತ್ತ್ವಗಳು ಹೀಗಿವೆ :

(1) ವಸ್ತುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಭಾವಿಸಲಾಗಿದ್ದ ಪರಮಾಣುವು ಅಭೇದ್ಯವಲ್ಲ. ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು ರಚನೆಯಿರಬೇಕು.

(2) 'ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್' ಎಂಬ ಕಣವು ದ್ರವ್ಯಾಂಶಕ್ಕೂ, ವಿದ್ಯುದಂಶಕ್ಕೂ ಒಂದು ಹೊಸ ಮಾನದಂಡವನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ

$m=$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತೂಕ $=9\cdot1\times10^{-31}$ kg. (ಕಿ. ಗ್ರಾಂ)

$e=$ ವಿದ್ಯುದಂಶ $=4\cdot8\times10^{-10}$ e.s.u. (ಸ್ಥಾಯೀ ವಿದ್ಯುತ್‌ಮಾನ ಇದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಿಮೆ ಪ್ರಮಾಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳೂ, ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳೂ ಇರಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ.

ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕ M_H ಆದರೆ,

$$\frac{m}{M_H} = \frac{1}{1836} \text{ (ಸುಮಾರು)}$$

(3) ಬೆಳಕು ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ತರಂಗರೂಪವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದರೂ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಅದು ಒಂದು 'ಶಕ್ತಿ ಕಣ' (photon) ದಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ.

(4) ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯು (radiation) ರೂಪವು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕವಾಗಿ ಭಾವಿಸಿದ್ದಂತೆ ಅಖಂಡ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ. ಅದರ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಕೆಲವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೊತ್ತಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರಲು ಸಾಧ್ಯ. ಅವುಗಳು 1 : 2 : 3 : ಆಗಿರಬೇಕು. ಇದರಿಂದ ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನವು ಒಂದು ಹೊಸ ರೂಪವನ್ನು ತಾಳಿತು. ಇದರ ವಿಮರ್ಶೆಯಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾಗಿರುವ ಅಂಗಗಳು ಯಾವುವೆಂದರೆ :

(i) ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆ

(ii) ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ

(ii) ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ರೂಪಿಸಿದ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ (Theory of Relativity)

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಗೆ (ಅಂದರೆ 10^{-8} ಸೆಂ. ಮೀ. ಗಿಂತ ಕಡಿಮೆ) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ, ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ ಮೂಲಾಧಾರವಾದುವು.

ಆದುದರಿಂದ, ಈ ಎರಡು ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳ ರೂಪರೇಖೆಗಳನ್ನು ಮೊದಲು ವಿಮರ್ಶೆಮಾಡುವುದು ಅಗತ್ಯವಾದುದು. ನಂತರ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಬಹುದು.

ಈ ನವ ಯುಗದಲ್ಲಿ ಕಾರಣ ಪುರುಷರಾಗಿರುವ ಹಲವಾರು ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಲ್ಲಿ ಥಾಂಸನ್, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್, ಭೋರ್, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್, ಬ್ರ್ಯಾಗ್, ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್, ಡಿಬ್ರೋಲಿ ಮತ್ತು ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ಹೆಸರುಗಳನ್ನು ಜ್ಞಾಪಕದಲ್ಲಿಡಬಹುದು.

3. ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ

3.1 ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್

ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ (Theory of Relativity) ಎಂದರೆ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಹೆಸರನ್ನು ಕೂಡಲೇ ಉಚ್ಚರಿಸಬೇಕು. ಏಕೆಂದರೆ ಆ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಆತನೇ ಮೂಲ ಪುರುಷ ಮತ್ತು ಅದಕ್ಕಾಗಿ ನಾವು ಚಿರಋಣಿಯಾಗಿರಬೇಕು.

ಆಲ್‌ಬರ್ಟ್ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ (1879–1955), ಜ್ಯೂ ಮನೆತನದಲ್ಲಿ ಜರ್ಮನಿಯ ವೂರ್ಟೆಂಬ್‌ಬರ್ಗ್‌ನಲ್ಲಿ 14–3–1879 ರಲ್ಲಿ ಜನ್ಮ ತಾಳಿದನು. ಬಾಲ್ಯವನ್ನು ಮ್ಯೂನಿಚ್ ಪಟ್ಟಣದಲ್ಲಿ ಕಳೆದು, 1894 ರಲ್ಲಿ ತನ್ನ ತಾಯಿ ತಂದೆಗಳನ್ನು ಅಗಲಿ, ವಿದ್ಯಾಭ್ಯಾಸಕ್ಕಾಗಿ ಸ್ವಿಟ್ಸರ್‌ಲೆಂಡ್‌ಗೆ ತೆರಳಿ ಅಲ್ಲಿ ಜ್ಯೂರಿಚ್ (Zurich) ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಅಧ್ಯಯನ ಮಾಡಿ 1902 ರಲ್ಲಿ ಪಿಎಚ್.ಡಿ. ಪಟ್ಟವನ್ನು ಪಡೆದನು. ಅದೇ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ 1909 ರಲ್ಲಿ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ನಿಯಮಿಸಲ್ಪಟ್ಟನು. ಅಲ್ಲಿಂದ ನಾಲ್ಕು ವರ್ಷಗಳ ನಂತರ ಬರ್ಲಿನ್ ನಗರಕ್ಕೆ ತೆರಳಿ ಅಲ್ಲಿಯ ಸುಪ್ರಸಿದ್ಧ ಕೈಸರ್–ವಿಲ್‌ಹೆಲ್ಮ್ ಭೌತ ಪರಿಷತ್ತಿನ ನಿರ್ದೇಶಕ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ವಹಿಸಿ ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರೆಸಿದನು. ಇವುಗಳ ಫಲವಾಗಿ 1921 ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕವು ಲಭಿಸಿತು. 1933 ರಲ್ಲಿ ಅಮೆರಿಕದ ಪ್ರಿನ್ಸ್‌ಟನ್‌ಗೆ (Princeton) ತೆರಳಿ ಅಲ್ಲಿಯ ವಿಜ್ಞಾನ ಪರಿಷತ್ತಿನಲ್ಲಿಯೇ ತನ್ನ ಅಂತ್ಯ ಕಾಲದವರೆವಿಗೂ ಸೇವೆ ಸಲ್ಲಿಸಿದನು.

ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ, ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ, ಉಷ್ಣಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಪ್ರಖ್ಯಾತವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿ, ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಅತ್ಯುನ್ನತ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಹೊಂದಿದನು. ಇಷ್ಟಾದರೂ, ಅತ್ಯಂತ ಸರಳ ಸ್ವಭಾವದವನೂ, ನಿಗರ್ವಿಯೂ, ಪ್ರಾಮಾಣಿಕನೂ ಆದ ಆದರ್ಶ ಲಕ್ಷಣಗಳ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಎಂದು ಹೆಸರಾದವನು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್.

ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ಖಗೋಳ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ಮೂಲ ಭೌತ ಪ್ರಮಾಣಗಳಾದ ಹರವು (space) ಕಾಲ (time) ಮತ್ತು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (mass) ಗಳು ಪರಸ್ಪರ ಸಾಪೇಕ್ಷಕಗಳು. ಅಂದರೆ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವುದಕ್ಕೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿಯೂ, ಅನಧೀನವಾಗಿರುವ ಸ್ಥಾನವಿಲ್ಲ. ಮೂರೂ ಕೂಡಿದರೆ ಮಾತ್ರ ಒಂದು

ಸಮಗ್ರ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆ (Continuum) – ಈ ಭಾವನೆಯು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ನ್ಯೂಟನ್ ಚಲನ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ನೇರ ವಿರೋಧವಾದುದು. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಅದರ ಪ್ರಕಾರ ಹರವು, ಕಾಲ ಮತ್ತು ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳು ನಿರಪೇಕ್ಷಕ (absolute) ಗಳಂತೆ ಭಾವಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದುವು. ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಏಕಕಾಲೀನತೆಯ ಸಾಪೇಕ್ಷಕತ್ವ (Relativity of Simultaneity) ಎಂಬ ಹೊಸ ಭಾವನೆಯು ಸೂಚಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು.

3.2. ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಎರಡು ವಿಭಾಗಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದು ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಿದ್ಧಾಂತ (Special Theory) ; ಎರಡನೆಯದು ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಿದ್ಧಾಂತ (General Theory), 1905ರಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟಿತವಾದ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಏಕರೂಪವಾದ ಸರಳ ರೇಖಾತ್ಮಕ ಚಲನೆ (uniform rectilinear motion) ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಮಸ್ಯೆಗಳನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲಾಯಿತು. ಅಂದರೆ ಇದರಲ್ಲಿ ಇಬ್ಬರು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ವೀಕ್ಷಕರು ತಮ್ಮ ತಮ್ಮ ಉಪಕರಣಗಳೊಂದಿಗೆ ಪರಸ್ಪರ ನಿಯತ ವೇಗದ ಚಲನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತಾರೆ. ಒಂದು ಸಂಭವವನ್ನು ಎರಡು ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳಿಂದ ವೀಕ್ಷಿಸುವುದರ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಬೆಳಕಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಚಲನೆಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ನಿರಪೇಕ್ಷಕ ಚಲನೆಯ ಸಮಸ್ಯೆಗೆ ಪರಿಹಾರವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಧ್ಯೇಯವಿದ್ದಿತು.

1915 ರಲ್ಲಿ ಏಕರೂಪವಲ್ಲದ ಚಲನವಿಲ್ಲದ (non-uniform motion) ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟು (frame of reference) ಮತ್ತೊಂದು ಕಟ್ಟಿನೊಂದಿಗೆ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಚಲನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಂದರ್ಭಗಳನ್ನು (general cases) ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಭೂಮಿ ಮತ್ತು ಇತರ ಖಗೋಳಕಾಯ (astronomical bodies)ಗಳ ವಿಚಾರಗಳು, ಮುಖ್ಯವಾಗಿ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ವಿವರಣೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ.

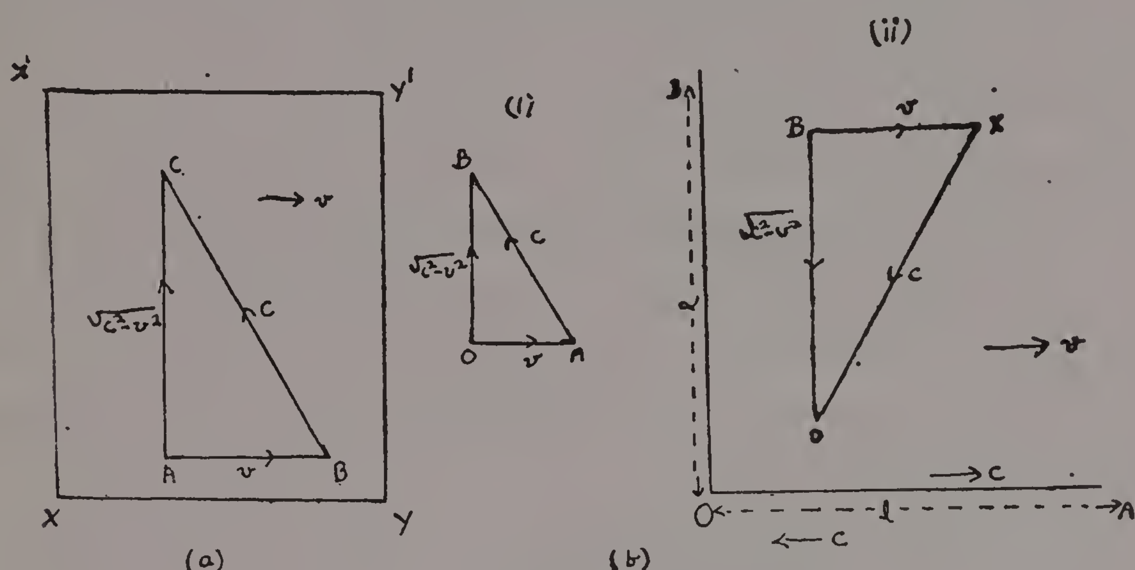
ಪ್ರಕೃತದಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ಆಧುನಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ತತ್ತ್ವವೇ ಪ್ರಧಾನವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಮಾತ್ರ ವಿಶದಪಡಿಸುವುದು ಸೂಕ್ತವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈಗ ಇದಕ್ಕೆ ಹಿನ್ನೆಲೆಯಲ್ಲಿ ಇದ್ದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನೂ, ಒಂದು ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಅವಶ್ಯಕತೆಯನ್ನೂ ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

3.3 ಪರಾಮರ್ಶೆಯಕಟ್ಟುಗಳು (Frames of Reference)

ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಚಲನೆಗಳನ್ನು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳ ಮೂಲಕ ವೀಕ್ಷಿಸುವುದರಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಒಂದು ವಸ್ತುವು ಒಂದು ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಲಿದ್ದು, ಆ ಮಧ್ಯ ವರ್ತಿಯೂ ಕೂಡ ಚಲನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ, ಪರಿಣಾಮವೇನು ? ಒಂದು ಆಕಾಶ ವಿಮಾನವು ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತ ಇರುವಾಗ, ಆ ಗಾಳಿಯು ಕೂಡ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ವಿಮರ್ಶೆಮಾಡಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ, ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ನೀರಿನ ಮೇಲೆ ಒಯ್ಯಲ್ಪಡುವ ದೋಣಿಯ ಚಲನೆಯೂ ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯಾಗುತ್ತದೆ.

ವಿಮಾನವು ಒಂದು ಘಂಟೆಗೆ ನೂರು ಮೈಲಿಗಳ ವೇಗದಿಂದ ನೆಟ್ಟಗೆ ಉತ್ತರ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ಸ್ಥಳವನ್ನು ಮುಟ್ಟಬೇಕೆಂದಿದ್ದು, ಅದೇ ಕಾಲಕ್ಕೆ ಗಾಳಿಯು ಪಶ್ಚಿಮದಿಂದ ಪೂರ್ವಕ್ಕೆ ಘಂಟೆಗೆ 50 ಮೈಲಿಗಳ ವೇಗದಿಂದ ಬೀಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ವಿಮಾನವು ಯಾವ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಯಾವ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಯಾನ ಮಾಡಿದರೆ ಗುರಿ ಮುಟ್ಟಬಹುದೆಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಯನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲು ನಾವು ಸದಿಶ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಸಂಕಲನದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು (Addition of Vectors)·



ಚಿತ್ರ 3.1

(a) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ AB = 50 (v) ಎಂಬುದು ಗಾಳಿಯ ಸದಿಶವೇಗ (Vector) ವನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ರೇಖೆ. ಇದು ಭೂಮಿ (A) ಗೆ ಸಾಪೇಕ್ಷಕವಾದ ಗಾಳಿಯ ವೇಗ AD ಎಂಬುದು ABಗೆ ಲಂಬರೇಖೆ. Bಯನ್ನು ಕೇಂದ್ರವಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು 100 ಮಾನಗಳನ್ನು ತ್ರಿಜ್ಯವಾಗಿಟ್ಟು ಒಂದು ವರ್ತುಲ ಚಾಪವನ್ನು ಎಳೆದು (arc) ಅದು AD ರೇಖೆಯನ್ನು C ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸಿದರೆ, AC ರೇಖೆಯನ್ನು ಅಳೆಯಬಹುದು. ಇದು 86.6 ಮಾನಗಳಾಗಿರುತ್ತದೆ ಮತ್ತು ACB = 30° ಅಂದರೆ ವಿಮಾನವು (A) ಭೂಮಿಯೊಂದಿಗೆ ಹೊಂದಿರುವ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ವೇಗವನ್ನು AC ರೇಖೆಯು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ವಿಮಾನವು BC ನೇರದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ, ಉತ್ತರಕ್ಕೆ 30° ಪಶ್ಚಿಮ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ (30° West of North) 100 ಮೈಲಿಗಳ ವೇಗದಿಂದ ಹೋದರೆ,

C ಬಿಂದುವನ್ನು ಮುಟ್ಟಬಹುದು. Aಗೆ ಉತ್ತರಾಭಿಮುಖವಾದ Cಯನ್ನು ಮುಟ್ಟಬೇಕಾದರೆ, ವಿಮಾನಕ್ಕೆ ಭೂಮಿಯೊಂದಿಗೆ ಇರುವ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ವೇಗ (ground speed)ವು 86.6 ಮೈಲಿಗಳು (ಒಂದು ಘಂಟೆಗೆ) ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. XY X′Y′ ಎಂಬುದು ಗಾಳಿಯ ಕಟ್ಟಾದರೆ (frame) ಇದು ಪೂರ್ವದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ 50ಮೈಲಿಗಳ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದು, ಇದಕ್ಕೆ ಸಾಪೇಕ್ಷವಾಗಿ, ವಿಮಾನವು BC ನೇರದಲ್ಲಿ 100 ಮೈಲಿಗಳ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರಬೇಕು.

ಈ ಉದಾಹರಣೆಯಲ್ಲಿ $AB=v$; $BC=c$ ಆದರೆ

$$AC=\sqrt{c^2-v^2} \qquad \ldots \quad 3.1$$

(b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವುದು ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯವಾದ ಉದಾಹರಣೆ. ಇದನ್ನೂ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ತತ್ತ್ವ ನಿರೂಪಣೆಗೆ ಸಹಾಯಕವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.

ಒಂದೇ ವಿಧವಾದ ಎರಡು ವಿಮಾನಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಅವುಗಳ ಚಾಲಕರಲ್ಲಿ ಒಬ್ಬನು O ಸ್ಥಾನದಿಂದ ಹೊರಟು ಪೂರ್ವಾಭಿಮುಖವಾಗಿರುವ A ತಲಪಿ ಅಲ್ಲಿಂದ ಮತ್ತೆ Oಗೆ ವಾಪಸಾಗುತ್ತಾನೆ. ಮತ್ತೊಬ್ಬನು O ಇಂದ ಹೊರಟು, ಉತ್ತರದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿರುವ B ಯನ್ನು ಮುಟ್ಟಿ ಮತ್ತೆ O ಗೆ ವಾಪಸಾಗಬೇಕು. ಇಲ್ಲಿ $OA=OB=l$. ಇಬ್ಬರೂ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ O ಬಿಂದುವನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಅವರು ತಮ್ಮ ತಮ್ಮ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಯಾನಮಾಡಿ, O ಗೆ ವಾಪಸ್ ಬರುವುದಕ್ಕೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುವ ಕಾಲಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು. ಇಬ್ಬರು ಚಾಲಕರೂ ಒಂದೇ ವೇಗ (c) ದಿಂದ ಯಾನ ಮಾಡಿದರೆ, ಗಾಳಿಯೇ ಇಲ್ಲದ ವಾತಾವರಣವಿದ್ದರೆ, ಎರಡು ಕಾಲಗಳೂ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು.

ಅಂದರೆ, OA ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಯಾನ ಮಾಡುವನ ಕಾಲವು t ಆಗಿಯೂ, OB ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಯಾನಮಾಡುವನ ಕಾಲವು t′ ಆದರೆ,

$$t=t'=\frac{2l}{c}=t_0 \text{ ಎನ್ನಬಹುದು} \qquad \ldots \quad 3.2$$

ಇದೇ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ನಾವು ಗಾಳಿಯು ಪಶ್ಚಿಮದಿಂದ ಪೂರ್ವಾಭಿಮುಖವಾಗಿ v ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಬೀಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಆಗುವ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು. ಆಗ t ಮತ್ತು t′ ಕಾಲಗಳು ಒಂದೇ ಇರಲಾರವು.

OB ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಯಾನ ಮಾಡುವ ವಿಮಾನದ ಚಲನಕಾಲ.

(a) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಇಲ್ಲಿ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತದೆ.

(i) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ $OX=v$ (ಗಾಳಿಯ ವೇಗ)

$XB = c =$ ವಿಮಾನದ ವೇಗ, $OB = \sqrt{c^2 - v^2}$ = ವಿಮಾನದ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ (ಭೂಮಿಯೊಂದಿಗೆ) ವೇಗ. ಅಂದರೆ, ಈ ವಿಮಾನವು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ, XB (ಉತ್ತರಕ್ಕೆ ಪಶ್ಚಿಮದ ಕಡೆ) ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ c ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸಿದರೆ, ಉತ್ತರಾಭಿಮುಖವಾಗಿ B ವರೆವಿಗೆ ಚಲಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, $OB = \sqrt{c^2 - v^2}$ ವೇಗದಲ್ಲಿ ನೇರಾಗಿ B ಯನ್ನು ಮುಟ್ಟುವ ಕಾಲವೂ, XB ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ c ವೇಗದಿಂದ ತಲುಪುವ ಕಾಲವೂ ಒಂದೇ ಎಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ $OB = l$ ಆದರೆ, (ಚಿತ್ರ b) ಇದಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಕಾಲವು

$$\frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \text{ ಆಗಬೇಕು} \qquad \ldots \quad 3.3$$

Bಯನ್ನು ಮುಟ್ಟಿ ಮತ್ತೆ ದಕ್ಷಿಣಾಭಿಮುಖವಾಗಿರುವ O ಬಿಂದುವಿಗೆ ವಾಪ ಸಾಗಬೇಕಾದರೆ, ವಾಸ್ತವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು (ii) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. X ನಿಂದ ಹೊರಟು, c ವೇಗದಿಂದ, Xo ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ ದಕ್ಷಿಣಕ್ಕೆ ಪಶ್ಚಿಮ ದಿಕ್ಕಿನ ಕಡೆ (West of South) ಯಾನಮಾಡಿದರೆ, O ತಲಪಬಹುದು. ಇಲ್ಲಿ $BO = \sqrt{c^2 - v^2}$ ಸಾಪೇಕ್ಷಕವಾದಂತಾಯಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಕಾಲವು $\frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$ ಆಗಬೇಕು. ಇವೆರಡನ್ನೂ ಸೇರಿಸಿದರೆ, OB + BO ಒಟ್ಟು ದೂರಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಕಾಲವು

$$t^1 = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \qquad \ldots \quad 3.4$$

OA ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ವಿಮಾನವು ಗಾಳಿಯ ವೇಗದ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿಯೇ ಸಾಗಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಗಾಳಿಯಿಂದ ಒಯ್ಯಲ್ಪಡುವುದರಿಂದ $\overrightarrow{OA}$, ದೂರವನ್ನು ಯಾನ ಮಾಡುವ ಕಾಲವು $\frac{l}{(c+v)}$ ಆಗಬೇಕು. ಹಾಗೆಯೇ A ಯಿಂದ O ಗೆ ವಾಪಸ್ ಬರುವಾಗ ಗಾಳಿಯ ವೇಗದ ದಿಕ್ಕು ವಿಮಾನದ ದಿಕ್ಕಿಗೆ ವಿರೋಧವಾಗಿರುವುದರಿಂದ $\overrightarrow{AO}$ ದೂರಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಕಾಲವು $\frac{l}{c-v}$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಈ ವಿಮಾನಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಒಟ್ಟು ಕಾಲವು

$$t = \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{2lc}{(c^2 - v^2)}.$$

ಗಾಳಿಯ ವೇಗದ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿಯೇ ಯಾನಮಾಡುವ ವಿಮಾನದ ಚಲನ ಕಾಲವು

$$t = \frac{2lc}{(c^2 - v^2)} \qquad \ldots \quad 3.5$$

ಗಾಳಿಯು ವೇಗದ ದಿಕ್ಕಿಗೆ ಲಂಬ ನೇರದಲ್ಲಿ ಹಾರುವ ವಿಮಾನಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಕಾಲವು

$$t' = \frac{2lc}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (3.4)$$

$$\frac{t'}{t} = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \div \frac{2lc}{c^2 - v^2} = \frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{c} \quad \ldots \quad 3.6$$

$v = o$ ಆದರೆ, $t' = t$ ಇತರ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ $t' < t$ ಆಗಬೇಕು.

$$\frac{t'}{t} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \ldots \quad 3.7$$

ಗಾಳಿಯು ಚಲನೆಯಿದ್ದಾಗ, $t' < t$. ಅಂದರೆ, $\overrightarrow{OA}$ ನೇರದಲ್ಲಿ ಹಾರಿ ಬರುವ ವಿಮಾನದ ಕಾಲವು ಅದಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾದ $\overrightarrow{OB}$ ನೇರದಲ್ಲಿ ಹೋಗಿಬರುವ ವಿಮಾನದ ಕಾಲಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಗಾಳಿಯು ವೇಗವು (v) ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ಇವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತ ಹೋಗಿ, $v \to c$ ಆಗುವಾಗ, $\frac{t'}{t} \to o$ ಆಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. $v > c$ ಆಗುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಕೇವಲ ಭಾವನಾತ್ಮಕವಾದುದು (imaginary); ವಾಸ್ತವ್ಯವಲ್ಲ.

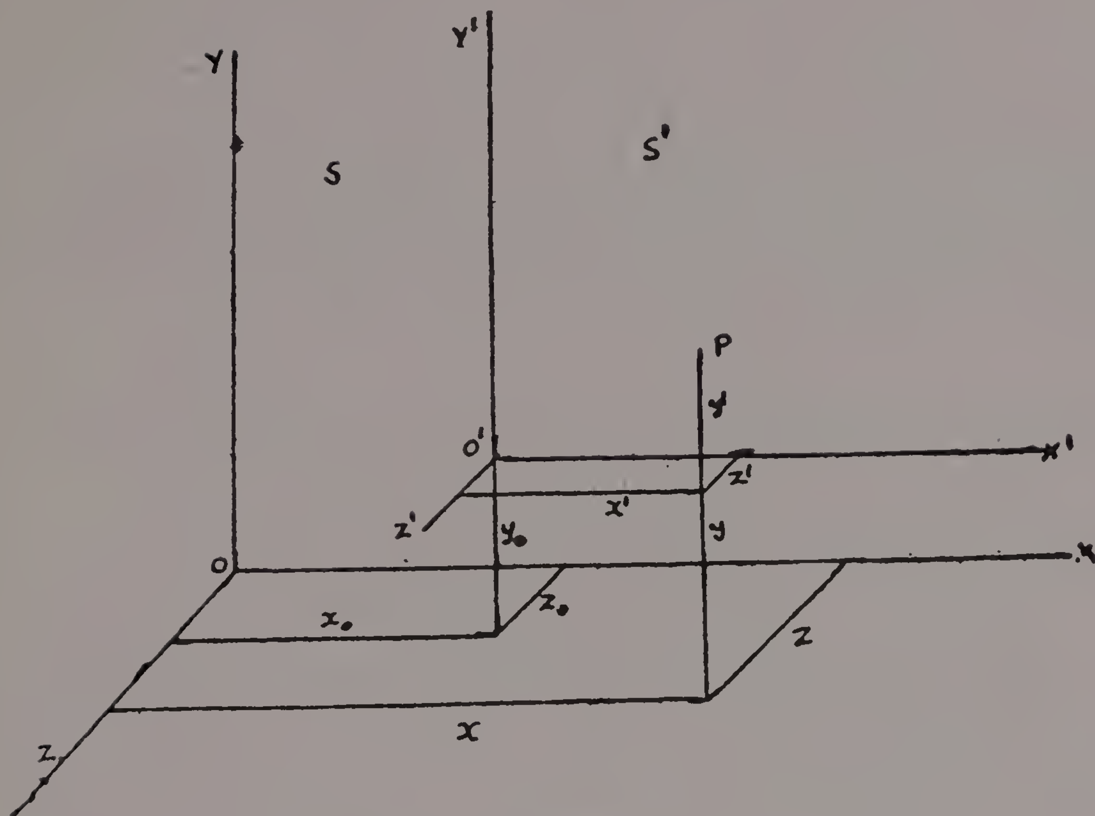
ಗಾಳಿಯು ಬೀಸದೇ ಇದ್ದರೆ, ಎರಡು ವಿಮಾನಗಳಿಗೂ ತಗಲುವ ಕಾಲವು ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು $t_o = \frac{2l}{c}$ ... 3.2

ಇದನ್ನು t ಮತ್ತು t′ ಗಳೊಂದಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಇವೆರಡಕ್ಕಿಂತಲೂ t_o ಕಡಿಮೆಯಾಗಿದೆಯೆಂದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

3.4 ಪರಿವರ್ತನ ಸಮೀಕರಣಗಳು (Transformation equations)

ಒಂದೇ ಸಂಭವ (event) ವನ್ನು ವೀಕ್ಷಣ ಮಾಡುವ ಇಬ್ಬರು ವೀಕ್ಷಕರು ಎರಡು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳಾದ S ಮತ್ತು S′ ಗಳಲ್ಲಿದ್ದು S ಮತ್ತು S′ ಗಳು ಪರಸ್ಪರ ಚಲನೆಯುಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ಸರಳ ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಬಹುದು.

ಮೊದಲು S ಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಅನ್ವಯುವಾಗುವ OX, OY, OZ ಎಂಬ ಮೂರು ಪರಸ್ಪರ ಲಂಬ ಅಕ್ಷಗಳಿದ್ದು, ಇವುಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, P ಎಂಬ ಒಂದು ಬಿಂದುವಿನ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಲು, x, y, z ಸ್ಥಾನಾಂಕ (coordinates) ಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಬಹುದು. S′ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಅಕ್ಷ



ಚಿತ್ರ 3.2 ಪರಾಮರ್ಶ ಕಟ್ಟುಗಳು

ಗಳು O′X′, O′Y′, O′Z′ ಆಗಿರಲಿ – ಇವುಗಳನ್ನು ಈ ಅಕ್ಷಗಳಿಂದ P ಬಿಂದುವಿನ ದೂರಗಳನ್ನು ಗುರ್ತಿಸಿದರೆ, ಆ ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳು x′, y′, z′ ಆಗುತ್ತವೆ.

ಈ ಎರಡು ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಪರಸ್ಪರ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಎರಡು ಕಟ್ಟುಗಳಿಗೆ ಮೂಲ ಬಿಂದುಗಳಾಗಿರುವ O ಮತ್ತು O′ ಗಳ ನಡುವಣ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

S ಕಟ್ಟನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, O′ ಬಿಂದುವಿನ ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳು x_o, y_o, z_o ಆಗಿರಬಹುದು. ಅಂದರೆ O ಬಿಂದುವು (O, O, O) ಆದರೆ, O′ ಬಿಂದುವು (x_o, y_o z_o) ಆಗುತ್ತದೆ.

S′ ಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿರುವ ವೀಕ್ಷಕನು S ವೀಕ್ಷಕನ ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತು ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ,

$$x = x' + x_o$$
$$y = y' + y_o$$
$$z = z' + z_o \quad \ldots \quad 3.8$$

ಹಾಗೆಯೇ, S ಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿರುವ ವೀಕ್ಷಕನು ತನ್ನ ವೀಕ್ಷಣಗಳಿಂದ P ಬಿಂದುವಿನ ಸ್ಥಾನವನ್ನು S ದೃಷ್ಟಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ

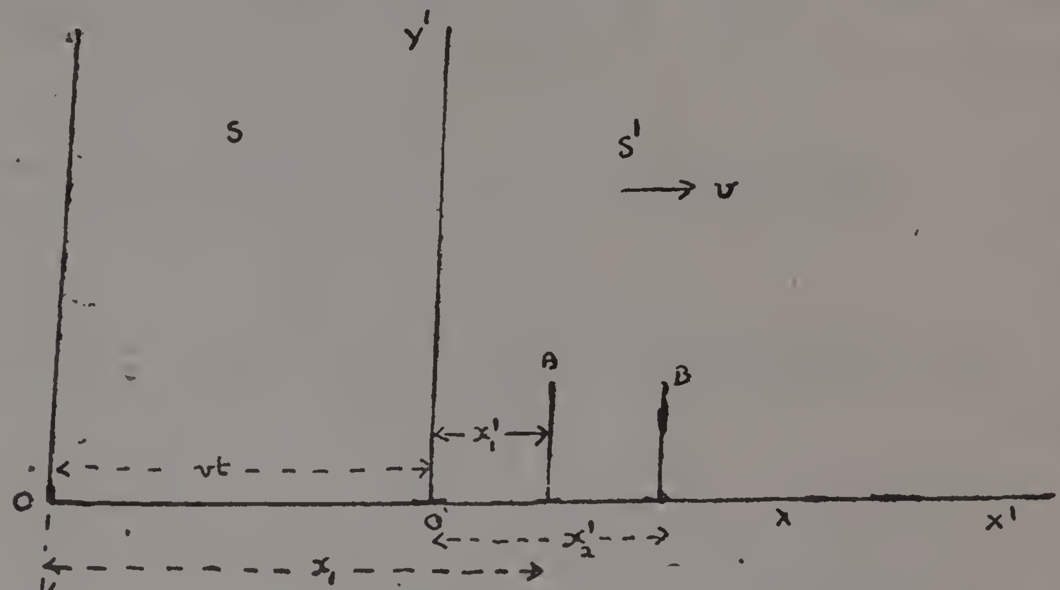
$$x' = x - x_0$$
$$y' = y - y_0$$
$$z' = z - z_0 \qquad \ldots \quad 3.9$$

ಇವೆರಡು ಸಮೀಕರಣಗಳು ಸಮಾನವಾಗಿಯೇ ಕಂಡುಬರುತ್ತವೆ. ಆದರೂ ಒಂದು ಕಟ್ಟಿನಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಕಟ್ಟಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಮಾಡುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ.

ಈ ಉದಾಹರಣೆಯಲ್ಲಿ S ಮತ್ತು S′ ಕಟ್ಟುಗಳು ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಲಾಗಿದೆ.

3.5 ಗೆಲಿಲಿಯನ್ - ನ್ಯೂಟನ್ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟು

ಮೇಲೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ವಿಸ್ತರಿಸಿ, S ಮತ್ತು S′ ಕಟ್ಟುಗಳು ಪರಸ್ಪರ ಚಲನೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿದ್ದು, S ನಲ್ಲಿರುವ ಒಬ್ಬ ವೀಕ್ಷಕನು O ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿದ್ದು ವೀಕ್ಷಣೆ ಮಾಡುವಂತೆ ಭಾವಿಸೋಣ. ಇದು ಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು OX ಅಕ್ಷವನ್ನು ಗುರುತಿಸೋಣ. ಈಗ S′ ನಲ್ಲಿರುವ ವೀಕ್ಷಕನು O′ ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿದ್ದು ಇದು OX ಅಕ್ಷದ ನೇರದಲ್ಲಿಯೇ v ಪ್ರಮಾಣದ ಏಕ ರೂಪದ ವೇಗ (v) ದಿಂದ ಚಲಿಸುವಂತೆ ಭಾವಿಸೋಣ. ಅಂದರೆ ಅದರ ಅಕ್ಷವು O′X′ ಕೂಡ OX ಮೇಲೆಯೇ ಸರಿಯುವಂತೆ ತಿಳಿಯಬಹುದು. s ವೀಕ್ಷಕನು O ಬಿಂದುವಿನಿಂದ ಹೊರಟು OX ನೇರದಲ್ಲಿ v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತ t ಕಾಲಾವಧಿಯ ನಂತರ OO′=vt ದೂರವನ್ನು



ಚಿತ್ರ 3.3

ಮುಟ್ಟುತ್ತಾನೆ. S ಮತ್ತು S′ ಗಳ ವೀಕ್ಷಕರು O, O′ ಗಳಲ್ಲಿರುವ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ತಮ್ಮ ತಮ್ಮ ಗಡಿಯಾರಗಳನ್ನು (stop-clocks) ಕೆಲಸ ಮಾಡುವಂತೆ ಮಾಡು

ತ್ತಾರೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. ಸ್ವಲ್ಪಕಾಲದ ನಂತರ, OX ನೇರಕ್ಕೆ ಸ್ವಲ್ಪ ಎತ್ತರದಲ್ಲಿ ಹಾರುತ್ತಿರುವ ಎರಡು ವಿಮಾನಗಳು A, B ಸ್ಥಾನಗಳಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಇಬ್ಬರು ವೀಕ್ಷಕರೂ ತಮ್ಮ ಗಡಿಯಾರದಲ್ಲಿ ಸಮಯಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿ ಗುರುತು ಮಾಡಲಿ. ಆ ಸಮಯದಲ್ಲಿ A, Bಗಳ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಛಾಯಾ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, O ಮತ್ತು O′ ಗಳಿಂದ ಅವುಗಳ ದೂರಗಳನ್ನು OX ನೇರದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಯ ಬಹುದು.

O ವೀಕ್ಷಕನ ಪ್ರಕಾರ, A, B ಗಳ ದೂರಗಳು x_1, x_2

O′ ವೀಕ್ಷಕನ ಪ್ರಕಾರ, A, B ಗಳ ದೂರಗಳು x_1', x_2'

ಈಗಾಗಲೇ ತೋರಿಸಿರುವ ಪರಿವರ್ತನ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು (3.8, 3.9) ಇಲ್ಲಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, $oo' = x_0 = vt$ ಆಗುತ್ತದೆ.

$$x_1' = x_1 - vt$$
$$x_2' = x_2 - vt$$

ಹಾಗೆಯೇ $x_1 = x_1' + vt$

$$x_2 = x_2' + vt$$

ಇವೆರಡೂ ಸಮಾನವಾದ ಸಮೀಕರಣಗಳೇ ಆಗಿದ್ದು

$$(x_2 - x_1) = (x_2' - x_1') \quad \ldots \quad 3.10$$

ಅಂದರೆ, S ಮತ್ತು S′ ವೀಕ್ಷಕರ ದೃಷ್ಟಿಕೋನದಿಂದ, A, Bಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರದ ದೂರವು ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು, ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಇಂಥ ಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ಗೆಲಿಲಿಯನ್ – ನ್ಯೂಟನ್ ಪರಿವರ್ತನೆಯೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, S ಮತ್ತು S′ಗಳೆಂಬ ಎರಡು ಪರಸ್ಪರ ಚಲನೆಯಲ್ಲಿರುವ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟು ಗಳಲ್ಲಿ S ಸ್ಥಿರವೆಂದು ಭಾವಿಸಿ, ಅದರಿಂದ S′ ಕಟ್ಟು v ಎಂಬ ಏಕರೂಪವೇಗ (uniform velocity) ದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಇವುಗಳಿಂದ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ವೀಕ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ಎರಡು ವಸ್ತುಗಳ ನಡುವಣ ದೂರಗಳು ಒಂದೇ ಆಗಿರು ತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಉದ್ದವು ಮೊದಲಿನ ವೀಕ್ಷಕನ ಪ್ರಕಾರ l ಆಗಿಯೂ, ಎರಡನೆಯ ವೀಕ್ಷಕನ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ l′ ಆಗಿದ್ದರೆ

$$l = l' \quad \ldots \quad 3.11$$

ಈ ದೂರವು ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಪ್ರಕಾರ, v ಮತ್ತು t ಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಒಂದೇ ನಿಯಮವೇನೆಂದರೆ, ಒಂದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಅಳತೆ ಯನ್ನು ಮಾಡಿರಬೇಕು.

ಈ ಕಾರಣದಿಂದ, ಈ ಕಾಲಗಳನ್ನು $t'=t$ ಎಂದು ಸೂಚಿಸಬೇಕು. 3-12 ಹೀಗಾಗಿ, ಉದ್ದವನ್ನು (l) ಒಂದು 'ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ' (invariant) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಈಗ ಇದೇ ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನೇ ಮುಂದುವರೆಸಿದರೆ, ಒಂದು ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ವಸ್ತುವನ್ನು ವೀಕ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, S ಮತ್ತು S′ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ. ಆ ವಸ್ತುವಿನ ವೇಗದ ಮೌಲ್ಯಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಇರುವಂತೆ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ ಎಂಬುದನ್ನೂ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬಹುದು.

ಒಂದೇ ವಿಮಾನವು ಮೇಲೆ ಹಾರುತ್ತ A_1 ಸ್ಥಾನದಿಂದ A_2 ಸ್ಥಾನಕ್ಕೆ ಚಲಿಸುವಾಗ, ಅದರ ಸ್ಥಾನಭೇದಗಳನ್ನೂ ಕಾಲದ ಅಂತರಗಳನ್ನೂ S ಮತ್ತು S′ ಕಟ್ಟುಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಅಳೆದು ತೋರಿಸಬಹುದು.

ಹೀಗೆ ಮಾಡಿದರೆ,

S ವೀಕ್ಷಕನ ಪ್ರಕಾರ, ವಿಮಾನದ ವೇಗವು $u = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

'S ,, ,, ,, $u' = \frac{x_2' - x_1'}{t_2' - t_1'}$ ... 3.13

$$x_1{}^1 = x_1 - vt_1$$
$$x_2{}^1 = x_2 - vt_2$$

ಇಲ್ಲಿ $(t_2{}^1 - t_1{}^1) = (t_2 - t_1)$ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ

$$u^1 = u - v$$
$$u = u^1 + v \quad \ldots \ 3.14$$

ಅಂದರೆ, ವಸ್ತು (ವಿಮಾನ)ವಿನ ವೇಗದ ಮೌಲ್ಯವು ಇಬ್ಬರು ವೀಕ್ಷಕರಿಗೂ ಒಂದೇ ಆಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಅವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು v ಅಂದರೆ S, S^1 ಗಳ ನಡುವಣ ಪರಸ್ಪರ ವೇಗದ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ಕಾರಣದಿಂದ, ವೇಗಗಳು ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿ ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತಗಳಲ್ಲ (velocities are not invariant).

ಇದೇ ಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ಮುಂದುವರೆಸಿ, ಒಂದೇ ವಸ್ತುವಿನ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷದ ಮೌಲ್ಯಗಳು ಎರಡು ವೀಕ್ಷಕರ ದೃಷ್ಟಿಗಳಲ್ಲಿ ಹೇಗೆ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಹೊಂದುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ವೇಗದ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳ ಕಾಲಾವಧಿಗಳು ಇಬ್ಬರಿಗೂ ಒಂದೇ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ

$$a = \frac{u_2 - u_1}{t}$$
$$a^1 = \frac{u_2{}^1 - u_1{}^1}{t} \quad \ldots \ 3.15$$

ಆದ್ದರಿಂದ $a = a^1$ ಆಗುತ್ತದೆ.

ಅಂದರೆ, ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವು ಒಂದು 'ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ'ವಾದ ಪ್ರಮಾಣ.

ವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಒಂದೇ ಎಂದು (m) ಭಾವಿಸಿದರೆ, ನ್ಯೂಟನ್ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ $F = F^1$ ಆಗಬೇಕು. ... 3.16

3.6 ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಶಾಸ್ತ್ರ (Classical Relativity)

ಮೇಲೆ ನಮೂದಿಸಿರುವ ಉದಾಹರಣೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ನಾವು ವಸ್ತುವಿನ ಚಲನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಪರಸ್ಪರ ಏಕರೂಪ ಚಲನೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ಎರಡು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳ ಮೂಲಕ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳನ್ನು ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಈಗ ಸಂಗ್ರಹಿಸಬಹುದು. ಈ ಎರಡು ಕಟ್ಟುಗಳಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಅಳತೆಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಪರಿವರ್ತನ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು.

$$x^1 = x - vt$$
$$u^1 = u - v$$
$$l^1 = l$$
$$a^1 = a$$
$$t^1 = t \qquad \dots \ 3.17$$

ಉದ್ದಗಳು ಮತ್ತು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಗಳು ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತಗಳು.

ಇದನ್ನು ನ್ಯೂಟನ್ ಚಲನವಿಜ್ಞಾನ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟನ್–ಗೆಲಿಲಿಯನ್ ಅಥವಾ ಜಡಾತ್ಮಕ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟು (Inertial frame of reference) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ.

ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳು ಏಕರೂಪ ಚಲನೆಯಲ್ಲಿಲ್ಲದೆ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾದರೆ, ನ್ಯೂಟನ್ ಚಲನ ನಿಯಮಗಳು ಅನ್ವಯವಾಗಲಾರವು.

ಇದುವರೆವಿಗೂ ಸೂಚಿಸಿರುವ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಅಳತೆಗಳೂ ಏಕಕಾಲಿಕ (simultaneous) ವೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಚಲನ ವೇಗವು (v), ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದೊಂದಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣಗಳಾಗಿದ್ದು ಗಣನಾರ್ಹವಾಗಿಲ್ಲ ಎಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು ಅನಂತ (infinite) ವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದಂತೆ ಆಗುತ್ತದೆ.

ಕಟ್ಟುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ವೇಗವು (v) ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ (3×10^{10} ಸೆಂ. ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್) ವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸುವಾಗ, ಒಂದು ಹೊಸ

ಚಲನ ವಿಜ್ಞಾನವನ್ನೇ ರೂಪಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಚಲನ ವಿಜ್ಞಾನ (relativistic mechanics) ವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನೇ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪರಿಶೀಲಿಸಿರುವುದು. ಅದಕ್ಕೆ ಪೂರ್ವಭಾವಿಯಾಗಿ, ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೂ ವೇಗಕ್ಕೂ ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಮೈಕೆಲ್ಸನ್-ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗ (Michelson–Morley experiment) ವನ್ನು ವಿವರಿಸುವುದು ಅಗತ್ಯ ವಾಗಿದೆ.

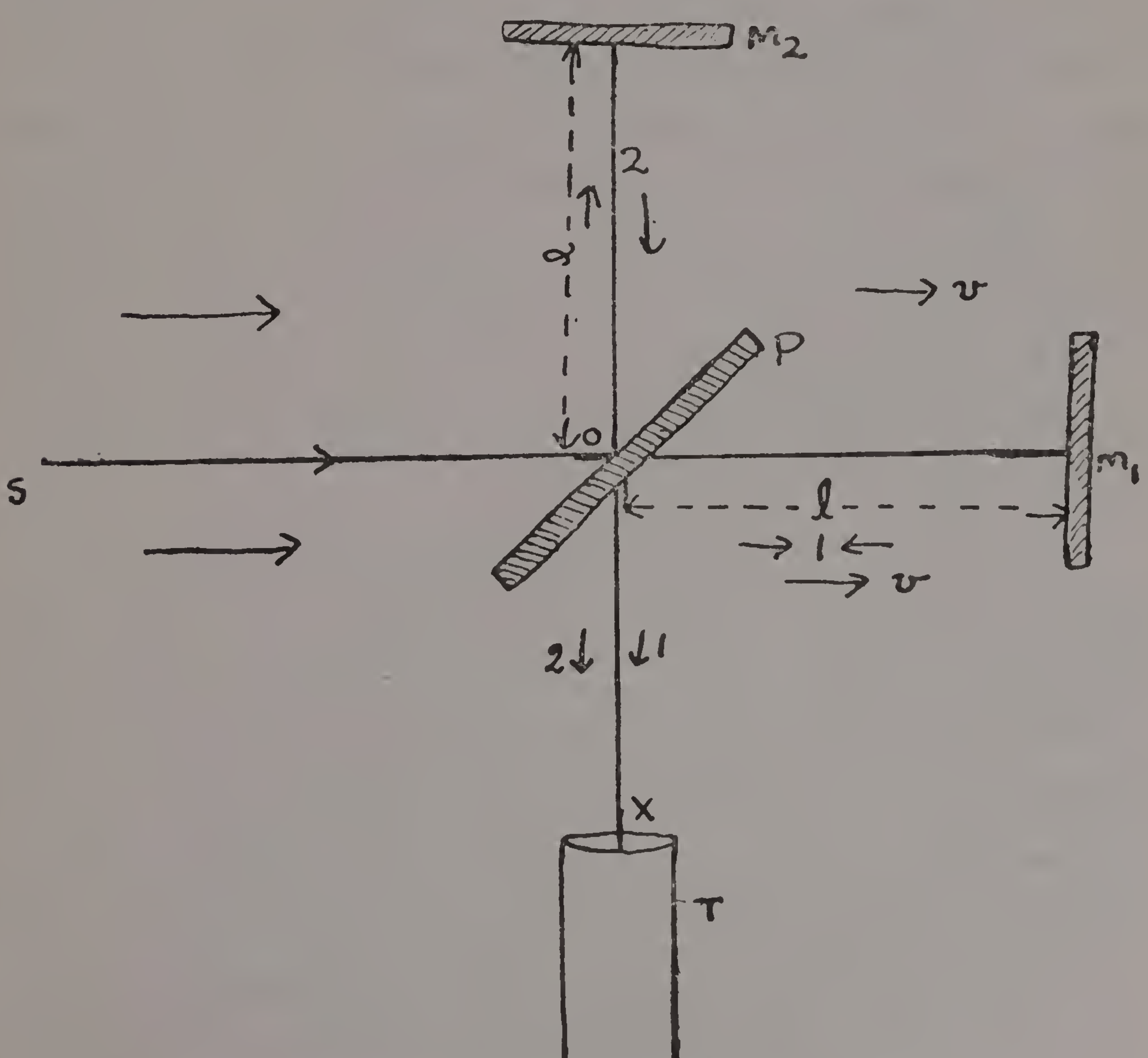
3.7. ಮೈಕೆಲ್ಸನ್–ಮಾರ್ಲಿ ವ್ಯತಿಕರಣೋಪಕರಣ–ಪ್ರಯೋಗದ ವಿಫಲತೆ (Michelson - Morley Interferometer)

ದ್ಯುತಿ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಮೈಕೆಲ್ಸನ್-ಮಾರ್ಲಿ ಉಪಕರಣದ ಪ್ರಯೋಗವು ಬಹಳ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಇದು ದ್ಯುತಿ ವ್ಯತಿಕರಣಕ್ಕೆ (interference of light) ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗವಾಗಿದ್ದು ಬೆಳಕು ತರಂಗಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರವಾಗಬೇಕೆಂಬ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ನಿದರ್ಶನವಾಗಿದೆ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಇದು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಮಾಣದ ಉದ್ದಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಸಹಾಯಕವಾಗಿದೆ. ಸೋಡಿಯಂ ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗಾಂತರವನ್ನು 6×10^{-5} ಸೆಂ. ಮೀ. ಎಂದು ಇಟ್ಟು ಕೊಂಡರೆ, ಇದರ ಅರ್ಧ ಭಾಗದಷ್ಟು ಅಂದರೆ 3×10^{-5} ಸೆಂ. ಮೀ. ಪ್ರಮಾಣ ವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

ಪ್ರಕೃತದಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ಮುಖ್ಯತ್ವವು ಮತ್ತೊಂದು ದೃಷ್ಟಿ ಯಿಂದ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಲು ಸಹಾಯಕವಾಗುವುದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗಿದೆ. ಬೆಳಕು ತರಂಗದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರವಾದರೆ ಅದಕ್ಕೆ ಆಧಾರಭೂತವಾಗಿ ಒಂದು ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯು ಇದ್ದೇ ಇರಬೇಕು. ಈ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಗೆ ಈಥರ್ (ether) ಎಂದು ಕಾಲ್ಪನಿಕವಾಗಿ ಹೆಸರು ಇಡಲಾಯಿತು. ಈ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯ ರೂಪವು ಎಂತಹುದು ಎಂಬುದನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲು ಹಲವಾರು ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ಹತ್ತೊಂಬತ್ತ ನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಲೇ ಇದ್ದು ಇದು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಸಮಸ್ಯೆಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿತು. ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದ ವಸ್ತುಗಳ ವಿವಿಧ ರೂಪಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಈಥರ್ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯು ಮೂರು ರೂಪಗಳಲ್ಲಿ (ಘನ, ದ್ರವ, ಅನಿಲ) ಯಾವುದೊಂದಕ್ಕೂ ಸರಿಹೊಂದದು. ಹೀಗಾಗಿ, ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ನಿರಾಶೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಈಥರ್ ಒಂದು ಪದವಾಗಿ ಉಳಿದು ಅದನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಹೀಗೆ ನಿರೂಪಿಸಲಾಯಿತು : "ಯಾವುದು ಕಂಪಿಸುತ್ತದೆಯೋ ಅದು ಈಥರ್" (Ether is that which vibrates).

ಈಥರ್ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಈ ಅತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ಸ್ಥಿತಿ ಇದ್ದರೂ, ಕಾಲ್ಪನಿಕವಾಗಿಯಾದರೂ, ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಗಳ ಪ್ರಸಾರಕ್ಕೆ ಅವಶ್ಯವಿರಬೇಕಾದ ಒಂದು ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕೊಡಲೇಬೇಕಾಯಿತು.

ಮತ್ತೊಂದು ವಿಷಯದ ಜಿಜ್ಞಾಸೆಯನ್ನೂ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಾಡತೊಡಗಿದರು. ಇದು ಭೂಮಿಗೂ ಈಥರ್‌ಗೂ ಇರಬಹುದಾದ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಚಲನೆಯ ವಿಚಾರಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ಭೂಮಿಯು ಸೂರ್ಯನ ಸುತ್ತಲೂ ತನ್ನ ಪಥದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಸುಮಾರು 3×10^6 ಸೆಂ. ಮೀ. ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಈಗ ಈಥರ್ ಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ಮೂಲಕ ಭೂಮಿ ಈ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತದೆಯೇ ಅಥವಾ ಭೂಮಿಯೊಂದಿಗೆ ಇದೂ ಕೂಡ ಎಳೆಯಲ್ಪಡುತ್ತದೆಯೇ (ether-drag) ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಗೆ ಉತ್ತರವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಹುಡುಕಬೇಕಾಯಿತು. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಮೈಕೆಲ್ಸನ್ – ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನೇ ಸಮೀಕ್ಷೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಲಾಯಿತು. ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 3.4 ಮೈಕೆಲ್ಸನ್ – ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗ

S ಎಂಬುದು ಒಂದು ಏಕವರ್ಣೀಯ (mono-chromatic) ಬೆಳಕನ್ನು ಹೊರಸೂಸುವ ಮೂಲಸ್ಥಾನ. P ಎಂಬುದು ಗಾಜಿನ ಸಮಾನಾಂತರ ಫಲಕ – ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗಕ್ಕೆ ಇದು 45° ಓರಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಫಲಕದ ಹಿಂಭಾಗವು (M) ಅರ್ಧ ರಜತ ಲೇಪವನ್ನು ಹೊಂದಿ (half-silvered) ಪಾರ್ಶ್ವತಃ ಪ್ರತಿಫಲನ ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಈ ಫಲಕದಿಂದ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರ (*l*) ದಲ್ಲಿ M_1 ಎಂಬ ಸಮತಲದರ್ಪಣವು ಇದೆ. ಇದರ ಮೇಲೆ ಕಿರಣಗಳು ಲಂಬವಾಗಿ ಆಪಾತವಾಗಿ ಅದೇ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಪ್ರತಿಫಲನದಿಂದ ವಾಪಸ್ ಆಗುತ್ತವೆ. OM_1 ಗೆ ಲಂಬ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಅದೇ ದೂರದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ *l* ದೂರದಲ್ಲಿ M_2 ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ದರ್ಪಣವು M_1 ನಂತೆಯೇ ಕಿರಣಗಳು ಲಂಬ ನೇರದಲ್ಲಿ ಆಪಾತ ವಾಗುವಂತೆ ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿದೆ.

$$OM_1 = OM_2 = l.$$

ಈಗ, P ಫಲಕದ ಮುಂಭಾಗದಲ್ಲಿ ಆಪಾತವಾಗುವ ಒಂದು ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣವು ಅದರೊಳಗೆ ಹಾಯ್ದು ಹಿಂಭಾಗ (M) ದ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಅಲ್ಲಿ ಎರಡು ಭಾಗವಾಗಿ ಒಂದು ಅಂತಃಪ್ರತಿಫಲನ ಹೊಂದಿ ಮತ್ತೊಂದು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣವು 1 ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಇದು ನೇರಾಗಿ *l* ದೂರ ಪ್ರಸಾರವಾಗಿ M_1 ನಿಂದ ಪ್ರತಿಫಲನ ಹೊಂದಿ ಮತ್ತೆ P ಫಲಕದ ಹಿಂಭಾಗದಿಂದ ಪ್ರತಿಫಲಿತವಾಗಿ, OX ನೇರದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. P ಫಲಕದ ಹಿಂಭಾಗದಿಂದ ಪ್ರತಿಫಲಿತವಾದ ಕಿರಣದ ಮತ್ತೊಂದು ಭಾಗವು OM_2 ನೇರದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು 2 ಕಿರಣವೆಂದು ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಇದೂ ಕೂಡ *l* ದೂರ ಚಲಿಸಿ, M_2 ನಿಂದ ಪ್ರತಿಫಲಿತವಾಗಿ ಮತ್ತೆ P ಫಲಕದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು OX ನೇರದಲ್ಲಿಯೇ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ.

ಹೀಗಾಗಿ, OX ನೇರದಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಚಲನ ಮಾಡಿ ಬಂದ 1, 2 ಕಿರಣಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ T ದೂರದರ್ಶಕವನ್ನು ತಲಪುತ್ತವೆ. ಈ ಎರಡು ಕಿರಣ ಗಳೂ ಒಟ್ಟು ಸಂಚರಿಸುವ ದೂರವು ಒಂದೇ ಆಗಿ ಕಂಡುಬಂದರೂ, ಅವುಗಳ ದ್ಯುತಿ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ (optical paths) ಸ್ವಲ್ಪ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಈ ಎರಡು ಬೆಳಕುಗಳ ನಡುವೆ ವ್ಯತಿಕರಣ (interference) ವುಂಟಾಗಿ, T ದೂರದರ್ಶಕದಲ್ಲಿ ವ್ಯತಿಕರಣ ತಂಡಗಳು (ಪರ್ಯಾಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಾಶ ಮತ್ತು ಕಪ್ಪು ವೃತ್ತಗಳು) ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ.

ಇದು ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ಸ್ಥೂಲ ವಿವರಣೆ. ಈ ಉಪಕರಣವು ಭೂಮಿಯ ಮೇಲೆ ಇರುವುದರಿಂದ ಅದೂ ಕೂಡ ಭೂಮಿಯ ಚಲನೆಯೊಂದಿಗೆ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳ ಬೇಕಾದುದು ಅನಿವಾರ್ಯ. ಈಥರ್ ನಿಶ್ಚಲವಾಗಿದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಿ ಅದಕ್ಕೆ

ಸಾಪೇಕ್ಷಕವಾಗಿ v ವೇಗದಿಂದ ಉಪಕರಣವು SOM_1 ನೇರದಲ್ಲಿಯೇ ಚಲಿಸುತ್ತಿದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ.

OM_1 ನೇರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು c ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಅದೇ ನೇರದಲ್ಲಿಯೇ P ಕೂಡ v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವುದರಿಂದ 1 ಕಿರಣವು $\overrightarrow{OM_1}$ ನೇರದಲ್ಲಿ (c+v) ವೇಗದಿಂದಲೂ, ಪ್ರತಿಫಲಿತಕಿರಣವು $\overrightarrow{M_1O}$ ನೇರದಲ್ಲಿ (c−v) ವೇಗದಿಂದಲೂ ಚಲಿಸುವಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಆದುದರಿಂದ 1 ಕಿರಣಕ್ಕೆ (OM_1O) 2 *l* ದೂರವನ್ನು ಚಲಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಕಾಲವು

$$t = \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{2\,lc}{(c^2-v^2)} \quad (3.5) \qquad \ldots \quad 3.18$$

ಇದೇ ಕಾರಣದಿಂದ, P ನಿಂದ OM_2 ನೇರದಲ್ಲಿ M_2ವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿ ಮತ್ತೆ ಪ್ರತಿಫಲನ ಹೊಂದುವ 2 ಕಿರಣಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಒಟ್ಟು ಕಾಲವು t^1 ಆದರೆ, ಇದು t ಆಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ M_2 ಕೂಡ OM_1 ನೇರಕ್ಕೆ ಸಮಾನಾಂತರವಾಗಿ v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವುದರಿಂದ

$$t' = \frac{2\,l}{\sqrt{(c^2-v^2}} \quad (3\cdot4). \qquad \ldots \quad 3\cdot19$$

ಎಲ್ಲವೂ ನಿಶ್ಚಲವಾಗಿದ್ದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ 1 ಮತ್ತು 2 ಕಿರಣಗಳ ಒಟ್ಟು ಕಾಲವು $\frac{2l}{c}$ ಆಗುತ್ತಿದ್ದಿತು.

ಈಗ, t ಮತ್ತು t′ ಗಳು ಭಿನ್ನವಾಗಿರುವುದರಿಂದ 1 ಮತ್ತು 2 ಕಿರಣಗಳ ಒಟ್ಟು ದ್ಯುತಿದೂರಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗಿ ವ್ಯತಿಕರಣ ತಂಡಗಳ ಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಪಲ್ಲಟವಾಗಬೇಕು.

ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮೈಕೆಲ್ಸನ್-ಮಾರ್ಲಿಗಳು ಸ್ವಲ್ಪ ಬದಲಾವಣೆ ಮಾಡಿದರು. ಇಡೀ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಪಾದರಸದ ದ್ರವದ ಆಸರೆಯ ಮೇಲೆ ತೇಲುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಅದನ್ನು ಸರಿಯಾಗಿ 90° ಭ್ರಮಣಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದರು. ಇದರಿಂದ, M_1 ದರ್ಪಣವು M_2 ಸ್ಥಾನಕ್ಕೆ ಬರುವಂತಾಯಿತು. ಅದಕ್ಕೆಸರಿಯಾಗಿ M_2 ಸ್ಥಾನವು ಬದಲಾಗಬೇಕು. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ 1 ಕಿರಣವು 2 ಕಿರಣದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಅದು ಒಟ್ಟು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳುವ ಕಾಲವು ಹಿಂದಿನ ಸ್ಥಿತಿಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ t ಮತ್ತು t′ ಗಳು ವಿಪರ್ಯಯವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ ಹಿಂದಿನ

ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ವ್ಯತಿಕರಣ ತಂಡಗಳ ಪಲ್ಲಟವೂ ವಿಪರ್ಯಸ್ತ (reversed) ವಾಗಬೇಕು.

ಈ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೂ ಪ್ರಯೋಗದ ಫಲಿತಾಂಶವನ್ನು ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಮೇಲಿನ ಭಾವನೆಯಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದಾದಂಥ ಯಾವ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಪ್ರಯತ್ನವು ವಿಫಲವಾಯಿತು.

$l = 11$ ಮೀಟರ್

$\lambda = 5{\cdot}9 \times 10^{-5}$ ಸೆಂ. ಮೀ. (ಸೋಡಿಯಂ ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರ)

$v = 3 \times 10^{-6}$ ಸೆಂ.ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್ (ಈಥರ್‌ನೊಂದಿಗೆ ಭೂಮಿಗೆ ಇರಬೇಕಾದ ಸಾಪೇಕ್ಷವೇಗ).

$c = 3 \times 10^{8}$ ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್.

ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಭಾವಿಸಲಾಗಿದ್ದ ವ್ಯತಿಕರಣ ತಂಡಗಳ ಪಲ್ಲಟವು

$\delta = 0{\cdot}37\ \lambda$ ಆಗಬೇಕು. ... 3.20

ಭಾವನೆಯು ಸರಿಯಾಗಿದ್ದ ಪಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಈ ಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ಇದೆ. ಆದರೆ ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪಲ್ಲಟವೂ ಕಂಡುಬರಲಿಲ್ಲ.

ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ವರ್ಷದ ವಿವಿಧ ಋತುಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾದರೂ ಯಾವ ಫಲವೂ ಲಭಿಸಲಿಲ್ಲ. ಭೂಮಿಯ ವೇಗವು (v) ಬದಲಾಗುತ್ತ ಹೋಗುವುದರಿಂದ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ನಿರೀಕ್ಷಿಸಬಹುದು.

ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ (1921–1924) ಡಯ್‌ಟನ್ ಮಿಲ್ಲರ್ ಮತ್ತೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ಬದಲಾಯಿಸಿ, 2 ದರ್ಪಣಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ 16 ದರ್ಪಣಗಳನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿ, ಒಟ್ಟು ದೂರವನ್ನು 64 ಮೀಟರ್‌ಗಳಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಿಸಿದನು. ಆದರೂ, ಯಾವ ಗಣನೀಯವಾದ ಪಲ್ಲಟವೂ ಕಂಡುಬರಲಿಲ್ಲ.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ದೊಡ್ಡ ಪ್ರಯತ್ನದಲ್ಲಿ ಮೈಕೆಲ್ಸನ್-ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗವು ನಿರೀಕ್ಷಿತ ಫಲವನ್ನು ಕೊಡದೆ ನಿರಾಶೆಯನ್ನು ತಂದಿತು.

ಈ ವಿಫಲದಿಂದ, ಭೂಮಿ ಮತ್ತು ಈಥರ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ಯಾವ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಚಲನೆಯೂ ಇಲ್ಲ ಎಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು ಎಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಮತ್ತೊಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಈ ವಿಫಲವೇ ಮತ್ತೊಂದು ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನ ಮಾಡಿತು. ಇದನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು.

3.8 ಫಿಟ್ಸ್‌ಜೆರಾಲ್ಡ್-ಲಾರೆಂಟ್ಜ್ ಸಂಕೋಚನ

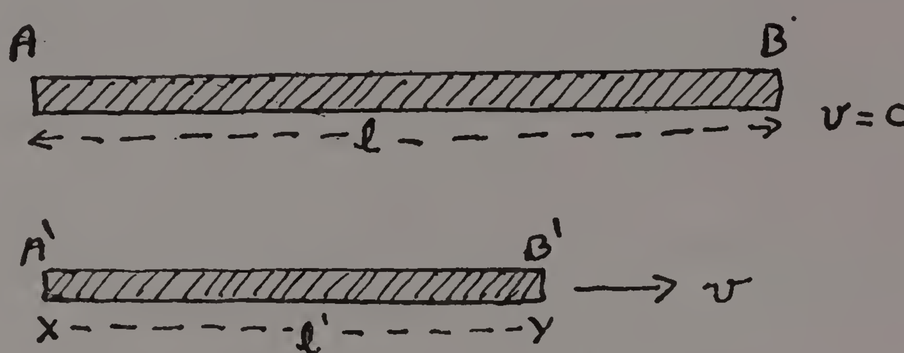
ಮೇಲಿನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಿರವಾದ ಈಥರ್ ಮೂಲಕ ಭೂಮಿಯು 'v' ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವುದರ ಪರಿಣಾಮವು ನಿರೀಕ್ಷಿಸಿದಂತೆ ಉಂಟಾಗದಿದ್ದರೂ, ಕೆಲವು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ವಿಫಲವನ್ನು ಒಂದು ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡಲು ಪ್ರಯತ್ನಮಾಡಿದರು. 1890ರಲ್ಲಿ ಫಿಟ್ಸ್‌ಜೆರಾಲ್ಡ್ ಒಂದು ಚಮತ್ಕಾರವಾದ ಸಲಹೆಯನ್ನು ಮುಂದೂಡಿದನು. ಹರವು ಪ್ರದೇಶ (space) ದ ಮೂಲಕ ವಸ್ತುಗಳು ಚಲಿಸುತ್ತ ಸ್ಥಿರವಾದ ಈಥರ್‌ಅನ್ನು ಒತ್ತಿ ತಳ್ಳುತ್ತಾ ಹೋದಾಗ, ಆ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಚಲನಮಾರ್ಗದ ನೇರದಲ್ಲಿ ಸಂಕೋಚನ (compression) ವು ಉಂಟಾಗಬೇಕು. ಈ ಸಂಕೋಚನದಿಂದ ಮೈಕೆಲ್ಸನ್ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ (ಚಿತ್ರ 3.4.) OM_1 ನೇರದಲ್ಲಿ ಉಪಕರಣದ ಬಾಹು ($OM_1 = l$) ವಿನ ಉದ್ದವು ಕಡಮೆಯಾಗಬೇಕು. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ ಅದಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಕಾಲದ ಪ್ರಮಾಣ (t) ವು ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಕಡಮೆಯಾಗಬೇಕು. ಈ ಸಂಭವವೇ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿಫಲವೆಂದು ನಾವು ಎಣಿಸಲು ಕಾರಣವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಬಹುದು.

ಈ ಸಂಕೋಚನ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೇ ಲಾರೆಂಟ್ಜ್ ಎಂಬ ಡಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪರಮಾಣು ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಿದನು. ಅವನ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲ್ಲ ಜಡವಸ್ತುಗಳೂ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ರಚಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಈ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುದಂಶ (electrically charged particles) ಕಣಗಳು ಅಡಗಿರುವುದರಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತೀಯಕ್ಷೇತ್ರಗಳು (fields) ಉದ್ಭವಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ಈಥರ್ ಮೇಲೆ ಬಲಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ಬಲಗಳ ಪರಣಾಮದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಅಣುಗಳೂ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣುಗಳೂ ಸಂಕುಚಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತತ್ವದ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಲಾರೆನ್ಟ್ಜ್ ತನ್ನಹೆಸರಿನಲ್ಲಿಯೇ ಈಗ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿರುವ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ತೋರಿಸಿ ಕೊಟ್ಟನು.

$$l' = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad \cdots \quad 3.21$$

ಇಲ್ಲಿ v = ಈಥರ್‌ನೊಂದಿಗೆ ವಸ್ತುವಿನ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ವೇಗ ; ಈಥರ್‌ನಲ್ಲಿ ನಿಶ್ಚಲವಾಗಿರುವಾಗ ವಸ್ತುವಿನ ಉದ್ದ $= l$; c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ ; ವಸ್ತುವು ತನ್ನ ಉದ್ದದ ನೇರದಲ್ಲಿಯೂ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವಾಗ ಅದರ ವಾಸ್ತವ ಉದ್ದ $= l'$ ಆದ್ದರಿಂದ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳೂ ತಮ್ಮ ಉದ್ದದ ನೇರದಲ್ಲಿ v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವಾಗ, ಅವುಗಳ ಉದ್ದದಲ್ಲಿ ಸಂಕೋಚನವಾಗಬೇಕು. $v = 0$ ಆದಾಗ ಮಾತ್ರ $l' = l$. $\therefore \frac{v}{c}$ ಪ್ರಮಾಣವು

ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ 1ಕ್ಕೆ ಸಮೀಪಿಸುತ್ತಹೋದರೆ ಸಂಕೋಚನ ಪ್ರಮಾಣವು $(l-l')$ ಹೆಚ್ಚುತ್ತಹೋಗಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ನಿಶ್ಚಲವಾಗಿರುವಾಗ ಒಂದು ಸರಳಿನ ಉದ್ದವು $AB = l$



ಚಿತ್ರ 3.5 ಲಾರೆಂಟ್ಜ್ ಸಂಕೋಚನ

ಈ ಸರಳು ಅದರ ಉದ್ದದ ನೇರದಲ್ಲಿಯೇ v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವಾಗ ಅದು ಹ್ರಸ್ವವಾಗಿ ಅದರ ಉದ್ದವು $A'B' = l'$

$v = \frac{3}{4}c$ ಆದರೆ $l' = 0{\cdot}66\ l.$ ... 3·22

$v = c$ ಆದರೆ, $l' = o$ ಆಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವ ಸರಳಿನ ಉದ್ದವು ಮಾಯವಾಗಬೇಕು. ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, ಯಾವ ವಸ್ತುವೂ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವುದಾಗಲಿ, ಮೀರುವುದಾಗಲಿ ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಈ ಸಂಕೋಚನ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಮೈಕೆಲ್ಸನ್ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ವೇಗದಿಂದ ನಿರೀಕ್ಷಿಸಲಾಗಿದ್ದ ಹೆಚ್ಚು ಕಾಲಕ್ಕೂ, ಈ ಸಂಕೋಚನ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಸರಿಹೋಗಿ, ಪ್ರಯೋಗದ ವಿಫಲಕ್ಕೆ ಹೊಸ ಅರ್ಥವು ಬಂದಂತಾಯಿತು. ಅಂದರೆ, ಈಥರ್ ಸ್ಥಿರವಾಗಿದೆ ಎಂಬ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಲೋಪವಿಲ್ಲದಂತಾಯಿತು.

ಇದು ಒಂದು ಚಮತ್ಕಾರದ ಪರಿಹಾರದಂತೆ ತೋರಿಬಂದರೂ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ತನ್ನ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸಾಧಿಸಲು ದಾರಿಮಾಡಿಕೊಟ್ಟಿತು. ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಮೂಲ ರೂಪರೇಖೆಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬಹುದು.

3.9 ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಮೈಕೆಲ್ಸನ್-ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿಫಲಕ್ಕೆ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಒಂದು ಕ್ರಾಂತಿ ಕಾರಕವಾದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿ ಸಮರ್ಥಿಸಿದನು.

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಪ್ರಯೋಗದ ವಿಫಲದ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ : ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು ಒಂದು ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ (invariant). ಕಾಲ ಮತ್ತು ದೂರ-ಇವೆರಡೂ ಸಾಪೇಕ್ಷಕಗಳು. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಗೆಲಿಲಿಯನ್–ನ್ಯೂಟನ್ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರವನ್ನೇ

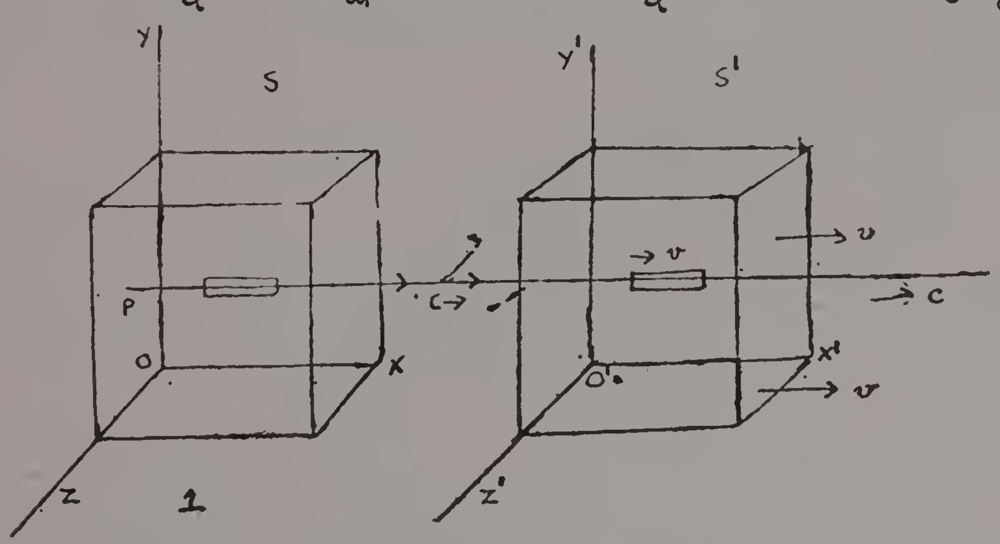
ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡಬೇಕು. ಈ ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನಂತರ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ.

ಮೈಕೆಲ್ಸನ್–ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ನಮಗೆ ಕಂಡು ಬರುವುದೇನೆಂದರೆ : ಹರವು ಪ್ರದೇಶವಲ್ಲಿ ಯಾವುದೊಂದು ನಿಶ್ಚಲವಾದ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟನ್ನು ಕಾಣಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಈ ಒಂದು ಕಾರಣದಿಂದಲೇ ಆ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ವಿಫಲ ಗೊಳ್ಳಲೇಬೇಕು. ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ವೇಗಗಳು ಬಹಳ ಕಡಮೆ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ಇದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ನ್ಯೂಟನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಚಲನ ನಿಯಮಗಳು ಅನುಸರಿಸಲ್ಪಡುವಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. ಆದುದರಿಂದ, ಯಾವುದೇ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟನ್ನು ತೆಗೆದು ಕೊಂಡರೂ, ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಅನ್ವಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವಂತೆ ನಾವು ಹೊಸ ರೂಪದ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ರಚಿಸಬೇಕು. ವೇಗಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾದಾಗ ಸಮೀಕರಣಗಳು ನ್ಯೂಟನ್ ನಿಯಮಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ.

ಈ ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಕಲ್ಪನೆಗಳು ಇರುತ್ತವೆ.

1) ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಎಲ್ಲ ನಿಯಮಗಳೂ ಸಮರೂಪದವೇಗ (uniform velocities) ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎಲ್ಲ ವೀಕ್ಷಕರಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತವೆ.

2) ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು ಒಂದು ಅಪ್ಯತ್ಯಸ್ತವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಶೂನ್ಯಪ್ರದೇಶ ದಲ್ಲಿ (vacuum) ಬೆಳಕು ಚಲಿಸುವ ವೇಗದ ಪ್ರಮಾಣವು ಅದರ ಮೂಲವಸ್ತು ವಿನ ಚಲನವೇಗವನ್ನಾಗಲಿ, ವೀಕ್ಷಕನ ಚಲನ ವೇಗನ್ನಾಗಲಿ ಅವಲಂಬಿಸುವುದಿಲ್ಲ.



ಸ್ಥಿರ ಚಲ

ಚಿತ್ರ 3.6 ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರಮೇಯಗಳು

S ಎಂಬುದು ಒಂದು ಆಧಾರ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟು. ಇದು ಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು ಇದರಲ್ಲಿ O ಎಂಬ ಒಬ್ಬ ವೀಕ್ಷಕನಿರುತ್ತಾನೆ. P ಎಂಬುದು ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶ ವಸ್ತು ವಾಗಿದ್ದು ಇದರಿಂದ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು C ವೇಗದಿಂದ ಹಾಯುತ್ತವೆ. ಇದರವೇಗ

$c = 3 \times 10^8$ ಮೀ/ಸೆಕೆಂಡ್ ಎಂದು O ವೀಕ್ಷಕನು ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಕಂಡು ಹಿಡಿಯುತ್ತಾನೆ. S′ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಪರಾಮರ್ಶೆಯಕಟ್ಟು v ವೇಗದಿಂದ OX ಗೆ ಸಮಾನಾಂತರ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿದೆ. ಅಂದರೆ, O, O′ ಗಳ ನಡುವಣ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ವೇಗ v ಆಯಿತು. P ನಿಂದ ಹೊರಟ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು O′X′ ಗೆ ಸಮಾನಾಂತರ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯುತ್ತ S′ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ,O′ವೀಕ್ಷಕನು ಅದರ ವೇಗವನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿದರೆ, ಅದೂ ಕೂಡ $c = 3 \times 10^8$ ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್ ಆಗಿಯೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, O, O′ ಗಳ ನಡುವಣ ಸಾಪೇಕ್ಷಕಗಳ ವೇಗವೇನೇ ಇರಲಿ, S, S′ ಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಯಾವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಇರುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ. ಇದನ್ನೇ ಬೇರೆ ವಿಧದಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು ಒಂದು ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ ಎಂಬುದೇ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಮುಖ್ಯ ಮೂಲಪ್ರಮೇಯ (postulate).

ಇದನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಹೊಸ ರೂಪದ ಪರಿವರ್ತನ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಅವುಗಳ ಪ್ರಕಾರ 'ದೂರ' ಮತ್ತು 'ಕಾಲ' ಎರಡು ಸಾಪೇಕ್ಷಕಗಳು ; ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತಗಳಲ್ಲ. ಇವುಗಳ ಅಂತಿಮ ರೂಪವು ಹೀಗೆ ಇರುವುವು.

$$x' = \gamma (x - v\,t).$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v\,x}{c^2} \right) \quad \text{ಸಾಪೇಕ್ಷಕ (Relativistic)} \qquad \ldots \quad 3{\cdot}23$$

ಹಿಂದೆಯೇ ಸೂಚಿಸಿರುವ ಅಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಅವುಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ. (3·17)

$$x' = (x - v\,t)$$

$$t' = t \qquad \text{ಅಸಾಪೇಕ್ಷಕ}$$

ಇವುಗಳನ್ನು ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣಗಳಲ್ಲಿ γ ಎಂಬ ಹೊಸ ಪದವು ಬಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಮೌಲ್ಯವು

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad \ldots \quad 3{\cdot}24$$

v = o ಆದರೆ, $\gamma = 1$ ಆಗಿ. ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಮತ್ತು ಅಸಾಪೇಕ್ಷಕ ರೂಪಗಳಲ್ಲಿ ಭೇದವಿರುವುದಿಲ್ಲ.

ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ನಾವು ಮೈಕೆಲ್ಸನ್-ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಜ್ಞಾಪಕಕ್ಕೆ ತಂದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ t, t′ ಗಳ ನಡುವಣ ಸಂಬಂಧವೂ

$$\frac{t}{t'} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \gamma \text{ ಆಗುತ್ತದೆ.} \qquad \ldots \quad 3{\cdot}25$$

ಲಾರೆನ್ಟ್ಜ್, ತನ್ನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ತತ್ತ್ವಗಳ ಪ್ರಕಾರ ರೂಢಿಸಿದ ಸಮೀಕರಣಗಳೂ ಉದ್ದದ ಸಂಕೋಚನದ ತತ್ತ್ವದ ಮೂಲಕ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಹೋಲುವಂತಿದ್ದರೂ, ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿದೆ. ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರಕಾರ, ಕಾಲವು ಒಂದು ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಗುಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಮೈಕೆಲ್ಸನ್-ಮಾರ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿಫಲತೆಗೆ ಕಾರಣವು ಲಾರೆನ್ಟ್ಜ್ ಎಣಿಸಿದಂತೆ ಈಥರ್ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿಲ್ಲ. ಎರಡು ಪರಾಮರ್ಶಕ ಕಟ್ಟುಗಳ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಚಲನೆಯಿಂದಲೇ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ಉದ್ಭವಿಸುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಿಂದ ಕಾಲವನ್ನು ಸಾಪೇಕ್ಷಕವಾಗಿಯೂ, ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತವೆಂದೂ ಭಾವಿಸುವ ಅವಶ್ಯಕತೆಯು ಇದೆ. ಇದು ಒಂದು ಭೌತ ಸತ್ಯ ಎಂದು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟದ್ದರಿಂದ ಈಥರ್ ವಿಷಯವಾದ ಯಾವ ಕಲ್ಪನೆಯಾಗಲಿ ಜಿಜ್ಞಾಸೆಯಾಗಲಿ ಬೇಕಿಲ್ಲ.

ಹೀಗಾಗಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದಿಂದ ಸುಮಾರು ಒಂದು ಶತಮಾನದ ವರೆವಿಗೂ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಮನಸ್ಸನ್ನು ಕಲಕಿಸಿದ್ದ ಸಮಸ್ಯೆಯು ತಾನಾಗಿಯೇ ಬಗೆಹರಿದಂತಾಯಿತು. ಇನ್ನು ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನೂ ಅವುಗಳ ಮಹತ್ವವನ್ನೂ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದಿರುವ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿರುವ ಸಮೀಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಗಮನಿಸಬೇಕಾದುದು

$\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ ಎಂಬ ಪದದ ಅವಶ್ಯಕತೆ.

S, S′ ಎಂದು ಸೂಚಿಸಲಾಗಿರುವ ಪರಾಮರ್ಶೆ ಕಟ್ಟುಗಳು v ವೇಗದ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಚಲನವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ,

S ಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿರುವ ವೀಕ್ಷಕನ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಚಲನ ವೇಗವು u ಆಗಿದ್ದು, ಅದೇ ವಸ್ತುವಿನ ವೇಗವು S′ ನಲ್ಲಿರುವ ವೀಕ್ಷಕನ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ u′ ಆಗಿದ್ದರೆ,

$$u' = u - v \qquad \text{(ಅಸಾಪೇಕ್ಷಕ)} \qquad \ldots \quad 3.14$$

ಎಂಬ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಹಿಂದೆ ತೋರಿಸಲಾಗಿತ್ತು.

ಆದರೆ, ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿರುವ ಬದಲಾವಣೆಯಿಂದ,

$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}} \qquad \text{(ಸಾಪೇಕ್ಷಕ)} \qquad \ldots \quad 3.26$$

ಆಗುತ್ತದೆ. ಇಲ್ಲಿಯೂ ಕೂಡ ವೇಗವು ಒಂದು ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತವಲ್ಲ (Not invariant).

3.10. ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (Relativistic mass)

ಹಿಂದಿನ ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನೇ ವಿಸ್ತರಿಸಿದರೆ, S,S′ ಎಂಬ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟುಗಳ ನಡುವೆ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಚಲನೆಯಿದ್ದು, S ಸ್ಥಿರವೆಂದು ಭಾವಿಸಿ, S′ v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಇವುಗಳಲ್ಲಿರುವ ವೀಕ್ಷಕರ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಭಿನ್ನವಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (m) ವೂ ಕೂಡ ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತವಲ್ಲ ಎಂದಹಾಗಾಯಿತು.

m_0 = ವಸ್ತುವಿನ ಸ್ಥಿರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮತ್ತು

m = ಅದು v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವಾಗ ಅದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವೂ

ಆದರೆ,

$$m = \gamma \cdot m_0$$

$$\therefore \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \ldots \quad 3.72$$

ಇದೊಂದು ಕ್ರಾಂತಿಕರವಾದ ವಿಷಯವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದರೂ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಸಮರ್ಥಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ.

ವೇಗ (v) ದ ಪ್ರಭಾವವು ಅಲ್ಪಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ಗಣನೀಯವಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ವಸ್ತುವಿನ ವೇಗವು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ (c) ಕ್ಕೆ ಅತಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವಾಗ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಹೆಚ್ಚಳವು ಬಹಳ ಅಗಾಧವಾಗುತ್ತದೆ. ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಿಂದ ಇದನ್ನು ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

$\frac{v}{c}$	$\frac{m}{m_0}$
.01	1.000
0.1	1.005
0.5	1.15
0.9	2.3
0.99	7.1
0.999	22.3

ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು $3 \times 10^8 \dfrac{\text{ಮೀಟರ್}}{\text{ಸೆಕೆಂಡ್}}$ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ,

ಇದರ $\dfrac{1}{10}$ ವೇಗ ($3 \times 10^7 \dfrac{\text{ಮೀಟರ್}}{\text{ಸೆಕೆಂಡ್}}$ ದಲ್ಲಿಯೂ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಸ್ಥಿರದ್ರವ್ಯಾಂಶ (rest mass) ಕ್ಕಿಂತ ಅಷ್ಟೇನೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. 99% ಮೀರಿದರೆ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಅತ್ಯಧಿಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹಾರುತ್ತದೆ.

ಈ ಸಮೀಕರಣದ ಸಮರ್ಥನೆಯು β ಕಿರಣಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಬಂದಿದೆ.

3.11. ದ್ರವ್ಯಾಂಶ–ಶಕ್ತಿ ಸಮಾನತ್ವ ಸಮೀಕರಣ

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ತತ್ತ್ವದ ಮತ್ತೊಂದು ಅತಿ ಮಹತ್ವದ ಸಾಧನೆಯೆಂದರೆ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳ ನಡುವೆ ಇದ್ದಿದ್ದ ಅಂತರವನ್ನು ಹೋಗಲಾಡಿಸಿದ್ದು. ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಕಾರ, ಶಕ್ತಿಯ ವಿವಿಧ ರೂಪಗಳ ನಡುವೆ ಇದ್ದ ಸಂಬಂಧವು ಕಲ್ಪಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಯಾಂತ್ರಿಕ ಶಕ್ತಿ–ಉಷ್ಣ, ಬೆಳಕು, ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿ, ಕಾಂತತ್ವ ಶಕ್ತಿಗಳ ನಡುವಣ ಪರಿವರ್ತನೀಯತೆ (convertibility) ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ನಿಯತತ್ವದ ಸಿದ್ಧಾಂತ (Conservation Principle) ವು ವ್ಯಕ್ತವಾಗಿದ್ದುವು. ಆದರೆ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳು ಎರಡು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಂತೆ ಭಾವನೆ ಇದ್ದಿತು. ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿದ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು. ಇದನ್ನು ಅವನ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಸಮೀಕರಣವು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ.

$$E = mc^2 \qquad \ldots \quad 3.28$$

ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕವಾಗಿ ತಿಳಿದಿದ್ದ ಭಾವನೆಗಳನ್ನೂ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನೂ ಪೋಣಿಸಿದರೆ, ಈ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಸುಲಭವಾಗಿ ರೂಢಿಸ ಬಹುದು.

ನ್ಯೂಟನ್ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ, F = ಬಲ m = ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ; v = ವೇಗ,

ಆದರೆ $F = \dfrac{d}{dt}(mv)$.

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, m ಮತ್ತು vಗಳು ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದ ಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ

$$F = m.\frac{dv}{dv} + v.\frac{dm}{dt}. \qquad \ldots \quad 3.29$$

ಈ ಬಲವು dx ದೂರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಭಾವಗೊಂಡರೆ, ಅದರ ಮೂಲಕ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯ ವೃದ್ಧಿಯು dE ಆಗಿರಲಿ.

$$dE = F.dx$$
$$= m.\frac{dv}{dt}dx + v\cdot\frac{dm}{dt}\cdot dx.$$

ಆದರೆ, $v = \frac{dx}{dt}$

$$\therefore\ dE = mv\cdot dv + v^2\cdot dm\cdot \qquad \ldots\ 3.30$$

ಈಗಾಗಲೇ ಸೂಚಿಸಿರುವಂತೆ m_o = ವಸ್ತುವಿನ ಸ್ಥಿರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ

m = v ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವಾದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ

ಆದರೆ, $m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\ (\gamma m_o)\cdot$

$$m^2 = \frac{m_o^2}{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$m^2 = \frac{m_o^2c^2}{c^2-v^2}\ ;\ m^2c^2 - m^2v^2 = m_o^2c^2$$

ಇದನ್ನು ಕಲನ ಗಣಿತ (differentiate) ದ ಪ್ರಕಾರ,

$$c^2\cdot 2m\cdot dm - v^2 2m\cdot dm - m^2\cdot 2v\cdot dv = 0$$

(c ಮತ್ತು m_o ನಿಯ ಕಾಂತಗಳು ; m ಮತ್ತು v ಚಲನ ಫಲನಗಳು)

$$\therefore\ c^2\cdot dm - v^2\cdot dm - m\cdot v\cdot dv = 0$$
$$c^2\cdot dm = mv\cdot dv + v^2\cdot dm$$

ಆದರೆ $dE = mv\cdot dv + v^2\cdot dm$

$$\therefore\ c^2 dm = dE \qquad \ldots\ 3.31$$

ಈಗ, ವಸ್ತುವು ನಿಶ್ಚಲ ಸ್ಥಿತಿಯಿಂದ, ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷವನ್ನು ಹೊಂದಿ, v ವೇಗವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿದರೆ, ಅದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು m_o ಇಂದ mಗೆ ಏರುತ್ತದೆ.

$$\therefore\ \int dE = E\int_{m_o}^{m} c^2\cdot dm = c^2\ (m - m_o)\ (3.30) \qquad \ldots\ 3.32$$

ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, ಚಲನದಿಂದ ಉಂಟಾಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಹೆಚ್ಚಳವನ್ನು $(m - m_o)$ ಮಾತ್ರ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ,

ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಸ್ಥಿರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಒಂದು ಆಂತರ್ಯ ಶಕ್ತಿಯು (internal energy) ಇದೆ.

ಆದ್ದರಿಂದ ವಸ್ತುವಿನ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು W ಸಂಕೇತವು ಸೂಚಿಸಿದರೆ,

W = ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಶೇಖರವಾಗಿರುವ ಆಂತರ್ಯ ಶಕ್ತಿ

+ ಚಲನ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣ

$$= m_o c^2 + E = (m - m_o)\, c^2 + m_o c^2$$

$$W = mc^2. \quad \ldots \quad 3.33$$

ಇದೇ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ರೂಪಿಸಿದ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ-ಶಕ್ತಿಗಳ ನಡುವಣ ಪರಸ್ಪರ ಸಮಾನತ್ವದ ಸಮೀಕರಣ.

ಇದನ್ನು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ 1905 ರಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರಕಟಿಸಿದರೂ, ಇದರ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರಕಬೇಕಾದರೆ ಹಲವಾರು ವರ್ಷಗಳು ಕಾಯಬೇಕಾಯಿತು. ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನವು ಬೆಳೆದು, ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನ ಮತ್ತು ವಿದಲನ (artificial transmutation) ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಸಫಲವಾದಾಗ, ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಬೆಂಬಲ ದೊರಕಿತು. ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಈ ವಿಷಯವು ವಿಶದವಾಗಿ ಸ್ಥಿರಪಡುವುದು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಆಧುನಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಿಸಿದ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಒಂದು ಅಮೌಲ್ಯ ಮತ್ತು ಪ್ರಧಾನ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ (c) ಇರುವ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವೆಂದರೆ, ಅದು ಒಂದು ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ – ಕಾಲ, ದೂರ ಮತ್ತು ವೇಗ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ – ಇವುಗಳೆಲ್ಲ ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ ಗಳಲ್ಲ.

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \ldots \quad 3.27$$

$$W = mc^2. \quad \ldots \quad 3.33$$

ಇವೆರಡೂ ಮೂಲ ಸಮೀಕರಣಗಳು.

3.12 ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಬೆಳಕಿನವೇಗ (c) ಕ್ಕೆ ಒಂದು ವಿಶಿಷ್ಟಸ್ಥಾನವು ದೊರಕಿತು. ಇದು ಒಂದು ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ ಪ್ರಮಾಣ ವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಪ್ರಮಾಣವು ಅದರ ವೇಗ ವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಭಾವನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಯಾವ ದ್ರವ್ಯ ವಸ್ತುವಾಗಲಿ

ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು ಮೀರುವಂತಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ, ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು ಒಂದು ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಪರಮಾಧಿ ಪ್ರಮಾಣದ್ದು, ಈ ತತ್ವಗಳಿಗೆ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಸಮರ್ಥನೆ ದೊರಕಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳು ಭೌತ ಮತ್ತು ಗಣಿತ ಶಾಸ್ತ್ರಗಳ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಮನ್ನಣೆಯನ್ನು ಪಡೆದಿದೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ದೊಡ್ಡ ಯಶಸ್ಸು ಏನೆಂದರೆ, ಈಥರ್ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನೇ ಕೈ ಬಿಡಬಹುದೆಂಬ ಭಾವನೆ. ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ರೂಪಗೊಂಡಿದ್ದ ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳಿಗೆ ಕಲ್ಪಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದ ಪ್ರತ್ಯೇಕ ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವಗಳೂ ಮಾಯವಾಗಿವೆ. ಅವುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೀಯತ್ವವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿರುವ ಸಮೀಕರಣವು ಮಹತ್ವ ಪೂರಿತ ಸಾಧನೆ. ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಒಂದೇ ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವದ ಎರಡು ರೂಪ ಗಳೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಇದೂ ಕೂಡ ಆಧುನಿಕ ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಮೂಲಭೂತವಾದುದು.

ಇಷ್ಟು ಸಾಧನೆಗಳಿಂದ ತೃಪ್ತನಾಗದೆ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಶ್ವದ ರಚನೆ, ಆಕಾಶ ಕಾಲಗಳ ಪರಿಮಾಣಗಳು, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ್ಷೇತ್ರ ಮುಂತಾದ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ತನ್ನ ಸಾಮಾನ್ಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಬಗೆಹರಿಸಿದ್ದಾನೆ. ಹಳೆಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳಿಗೆ ತಿದ್ದುಪಡಿ ಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಿ ಒಂದು ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿ ಕೋನವನ್ನೇ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟಿದ್ದಾನೆ. 1915ರಲ್ಲಿ ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದನು. ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಅಡ ಗಿರುವ ಗಣಿತ ಭಾಗಗಳು ಅತಿ ಗಹನವೂ ಕ್ಲಿಷ್ಟವೂ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅತಿಸ್ಥೂಲ ವಾಗಿ ಎದ್ದು ಕಾಣುವ ಕೆಲವು ರೂಪರೇಖೆಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಸೂಚಿಸುವುದು ಯುಕ್ತವಾಗಿದೆ.

ನ್ಯೂಟನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ್ದ ಭಾವನೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ ದೇಶ (space), ಕಾಲ, ವರ್ತಮಾನಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಅಮೂರ್ತ (abstract) ಸ್ವರೂಪವು ಕೊಡಲ್ಪಟ್ಟಿತ್ತು. ಆ ಭಾವನೆಗಳನ್ನು ವಾಸ್ತವ್ಯ ಮತ್ತು ಮೂರ್ತ (concrete) ಸನ್ನಿವೇಶಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿರಲಿಲ್ಲ, ಈ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಗೆ ನಿಜವಾದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ತನ್ನ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಕಲ್ಪಿಸಿದ್ದಾನೆ, ಈ ಭೌತ ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಕಾಯ ಗಳ ನಡುವಣ ಚಲನವಲನಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸುವಾಗ, ವಾಸ್ತವಿಕ ಸಂಭವಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯವನ್ನು ಕೊಡಬೇಕು-ಭೂಮಿ, ಗ್ರಹಗಳು ಮುಂತಾದವು. ನಿರಂತರವಾಗಿ ಚಲನಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಇರುವುದರಿಂದಲೂ, ಇದೇ ವಿಧವಾದ ಚಲನವು ವಿಶ್ವದ ಎಲ್ಲ ಕಾಯಗಳಿಗೂ ಇರುವುದರಿಂದಲೂ. ನಿರಪೇಕ್ಷಕದೇಶ, ನಿರಪೇಕ್ಷಕ ಕಾಲ (absolute space & absolute time) ವೆಂಬ ಭಾವನಗಳಿಗೆ ಎಡೆಯೇ ಇಲ್ಲ.

ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ದೇಶ-ಕಾಲಗಳೆರಡೂ ಸಾಪೇಕ್ಷಕಗಳನ್ನಾಗಿ ಗಣಿಸಿ ಅವುಗಳೆರ ಡನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಒಂದು ಸಮಗ್ರ ದೇಶ-ಕಾಲ ಅಖಂಡ ದ್ರವ್ಯ (space-

time continuum) ವೆಂಬ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ವಿಶೇಷ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯವನ್ನು ಕೊಡಲಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಮಿನ್‌ಕೌಸ್ಕಿಯು ನಾಲ್ಕು ಪರಿಮಾಣಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವ ಹೊಸ ಜ್ಯಾಮಿತಿ ಶಾಸ್ತ್ರವನ್ನು ರಚಿಸಿದ್ದಾನೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಸಂಭವವನ್ನು (event) S ಎಂಬ ಪರಾಮರ್ಶೆಯ ಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ x, y, z, t ಗಳೆಂಬ ನಾಲ್ಕು ಪರಿಮಾಣಗಳಿಂದ (four dimensions) ಸೂಚಿಸಬೇಕು. ಇದೇ ಸಂಭವ ವನ್ನು ಮತ್ತೊಂದು ಪರಾಮರ್ಶೆಕಟ್ಟು S′ ನಿಂದ ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಅದರ ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇ ಶಾಂಕಗಳನ್ನು (x′, y′, z′, t′) ಎಂದು ಸೂಚಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

S ಮತ್ತು s′ ಗಳ ಮೂಲಬಿಂದುಗಳು OX ಅಕ್ಷರದಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದರೆ, ಆಗ $t=t^1=o$. ನಂತರ s′ v ವೇಗದಿಂದ x ಅಕ್ಷರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಿದರೆ,

$$x^2+y^2+z^2-c^2t^2=x'^2+y'^2+z'^2-c^2t'^2 \quad \ldots \quad 3.34$$

ಹಿಂದಿನ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೂ ಇದಕ್ಕೂ ಇರುವ ಮುಖ್ಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇನೆಂದರೆ, x, y, z ಜೊತೆಗೆ $\sqrt{-1}\cdot ct$ ಅಥವಾ ict ಎಂಬ ನಾಲ್ಕನೆಯ ಪರಿಮಾಣವನ್ನು ಸೇರಿಸಿರು ವುದು. ಮೂರು ಪರಿಮಾಣಗಳನ್ನುಳ್ಳ, ಅಂದರೆ, ox. oy, oz ಎಂಬ ಪರಸ್ಪರ ಲಂಬವಾಗಿರುವ ಅಕ್ಷಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುವುದರಿಂದ ದೇಶ (space) ವನ್ನು ನಿರ್ದೇ ಶಿಸುವಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ಸರಿಯಾಗಿ ವಾಸ್ತವಿಕ ಆಕಾರವನ್ನು ಚಿತ್ರಿ ಸುವುದು ಸಾಧ್ಯ. ಆದರೆ, ಇವುಗಳಿಗೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವ ಮತ್ತೊಂದು ನಾಲ್ಕನೆಯ ಅಕ್ಷವು ಮಾನಸಿಕ ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದ ಮಾತ್ರ ಸಾಧ್ಯ. ಇದರ ಕಾಲ್ಪನಿಕ ರೂಪವನ್ನು ತೋರಿಸಿ ಅದು ಕಾಲಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದೆಂದು ಸೂಚಿಸಲು ನಾಲ್ಕನೆಯ ಪರಿಮಾಣ ವನ್ನು w = ict ಎಂದು ಗೊತ್ತುಮಾಡಿದೆ. ಈ ದೇಶ–ಕಾಲ (space-time) ವ್ಯವಸ್ಥೆ ಅಥವಾ ಮಿನ್‌ಕೌಸ್ಕಿ ಜಗತ್ (Minkouski world) ನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬಿಂದುವನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ನಾಲ್ಕು ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳ ಅವಶ್ಯಕತೆ ಇದೆ. ಇದನ್ನು ಜಗತ್ ಬಿಂದು (world point) ಎಂದು ಗಣಿಸಿ, ಇಂಥ ಎರಡು ಬಿಂದುಗಳನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರವು s ಆದರೆ,

$$s^2=(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2+(w_2-w_1)^2 \quad \ldots \quad 3.35$$

ಇದನ್ನು ಒಂದು ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತವೆಂದು ತೋರಿಸಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಪರಿವರ್ತನೆ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಅದರ ರೂಪವು ಬದಲಾಯಿಸದೆ ಎಲ್ಲ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯುವಾಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ds = ಜಗತ್‌ರೇಖೆಯು ಸಣ್ಣಪ್ರಮಾಣ (world-line element) ಆದರೆ,

$$ds^2=dx^2+dy^2+dz^2+dw^2$$
$$=dx^2+dy^2+dz^2-c^2dt^2 \quad \ldots \quad 3.36$$

ದೇಶ–ಕಾಲಗಳ ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ನಾಲ್ಕು ಪರಿಮಾಣಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸುವ ಜ್ಯಾಮಿತಿಶಾಸ್ತ್ರದ ಮೂಲ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ತೋರಿಸಿದಂತಾಯಿತು.

ಇನ್ನು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಹೊಸರೂಪವನ್ನು ಕೊಟ್ಟು ಅದಕ್ಕೂ ಹಿಂದಿನ ನ್ಯೂಟನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ತೋರಿಸಿದನು.

ಈ ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಮಿನ್‌ಕೌಸ್ಕಿಯ ನಾಲ್ಕು ಪರಿಮಾಣದ ದೇಶ-ಕಾಲ ಅಖಂಡತೆಯ ವಕ್ರತೆಯಲ್ಲಿ ವಿಕಾರವು (distortion in the curvature) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ನಂಬಲಾಗಿದೆ, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆಗೆ ದ್ರವ್ಯವೇ ಮುಖ್ಯಕಾರಣವಾದ್ದರಿಂದ, ಅದರಿಂದ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ವಿಕಾರವು ಅನಿವಾರ್ಯ. ಈ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಮುಂದುವರೆಸಿ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್, ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಸೂರ್ಯನ ಸುತ್ತಲೂ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುವ ಗ್ರಹಗಳ ಚಲನೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದನು. ಈ ಪರಿಶೀಲನೆಯು ಅತಿ ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದ ಗಣಿತದ ವಿಧಾನಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವುದರಿಂದ ಅದರ ಅಂತಿಮ ಫಲಿತಾಂಶವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ (ಸೂರ್ಯ) ಭಾರವಾದ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಮಾಡುವ ವಸ್ತುವ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು M ಆಗಿದ್ದು, ಅದನ್ನೂ ಗ್ರಹದ ಸ್ಥಾನವನ್ನೂ ಬಂಧಿಸುವ ತ್ರಿಜ್ಯದ ದಿಶ (radius vector) ವನ್ನು r ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿ, $u = \frac{1}{r}$ ಆದರೆ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ರಚಿಸಿದ ಹೊಸ ಸಮೀಕರಣವು ಹೀಗೆ ಇದೆ.

$$\frac{d^2u}{dt^2} + u = \frac{a}{h^2u^2} + 3a \quad \text{(ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್)} \qquad \ldots \quad 3.37$$

(h = ನಿಜವೇಗ); $a = Mu^2$ .. 3.38

ಇದನ್ನು ನ್ಯೂಟನ್ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ,

$$\frac{d^2u}{dt^2} + u = \frac{a}{h^2u^2} \quad \text{(ನ್ಯೂಟನ್)} \qquad \ldots \quad 3.39$$

ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ತಿದ್ದುಪಡಿಯಂತಿರುವ ಪದವು $3a$.

ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿರುವ ಗ್ರಹಗಳ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಇದರ ಮೌಲ್ಯವು ಗಣನೀಯವಾಗಿಲ್ಲ. ಆದರಿಂದಲೇ, ನ್ಯೂಟನ್ ಸಮೀಕರಣವೇ ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ ಈ ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು, ಖಗೋಳಕಾಯಗಳ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡು, ಅವುಗಳ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಿದನು. ಈ ಮೂರು ಖಭೌತಿಕ ಸಂಭವಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅಳತೆಗಳ ಮೂಲಕ ಹೊಸ

ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಬೆಂಬಲ ದೊರಕಿತು. ಇದರಿಂದ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಂತಾಯಿತು. ಈ ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳು ಹೀಗಿವೆ.

1. ಬುಧಗ್ರಹದ, ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಅತಿ ಕನಿಷ್ಠ ದೂರದ ಸ್ಥಾನದ ಪಲ್ಲಟ (Peri-helion of mercury)

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸೂಚಿಸಿದ ತಿದ್ದುಪಡಿ ಪದ $3a$ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಸರಿಯಾಗಿ ಹೊಂದಿಕೊಳ್ಳುವ ಭ್ರಮಣವನ್ನು ಅಳತೆಗಳಿಂದ ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡಲಾಯಿತು.

2. ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣದ ಬಾಗುವಿಕೆ

1921, 1922ರಲ್ಲಿ ಸಂಭವಿಸಿದ ಪೂರ್ಣ ಸೂರ್ಯಗ್ರಹಣ ಕಾಲಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾದ ನಿಖರ ಅಳತೆಯ ಅಂಕಿ ಅಂಶಗಳಿಂದ, ನಕ್ಷತ್ರದಿಂದ ಹೊರ ಬೀಳುವ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು ಸೂರ್ಯನ ಹತ್ತಿರ ಚಲಿಸುವಾಗ ಉಂಟಾಗುವ ಬಾಗುವಿಕೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ದಿಕ್‌ಪಲ್ಲಟದ ಪ್ರಮಾಣವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿದ್ದು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ 1.74 ಸೆಕೆಂಡ್ (ಕೋನ) ಗಳಿಗೆ ಸಮಾನವಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದೂ ಒಂದು ಯಶಸ್ವಿಯಾದ ಸಮರ್ಥನೆ.

3. ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳ ಪಲ್ಲಟ

1925ರಲ್ಲಿ ಮೌಂಟ್ ವಿಲ್ಸನ್ ನಕ್ಷತ್ರ ಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಆ್ಯಡಮ್ಸ್ (Adams) ಮಾಡಿದ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಸಿರಿಯಸ್‌ಗೆ ಅನುಯಾಯಿ (Companion of Sirius) ಯಾದ ನಕ್ಷತ್ರದಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಬೆಳಕಿನ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ತರಂಗಾಂತರದಲ್ಲಿ (red shift) ಸಂಭವಿಸುವ ಪಲ್ಲಟವು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಲೆಕ್ಕಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದ್ದ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಸರಿಹೊಂದಿತು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಮಾಡಿದ ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಸಮರ್ಪಕವಾದ ಸಮರ್ಥನೆಗಳು ಲಭಿಸಿದ್ದರಿಂದ, ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ವಿಶಿಷ್ಟ ಮತ್ತು ಸಾಮಾನ್ಯ ವಿಭಾಗಗಳಿಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಗಣ್ಯ ಸ್ಥಾನವು ದೊರಕಿ, ಈ ಮೇಧಾವಿಯ ಕೀರ್ತಿಯು ಅಮರವಾಗಿ ಉಳಿಯಿತು.

4. ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆ – ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್

4.1 ಅಲ್ಪ ಒತ್ತಡದ ಅನಿಲಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆ

ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಈ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ನಡೆದಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳೆಲ್ಲವೂ, ಪರಮಾಣುಗಳು, ಅಣುಗಳು ಮತ್ತು ವಸ್ತುವಿನ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿವೆ. ಚಾರಿತ್ರಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಮೂಲಭೂತವಾದ ಪ್ರಯೋಗವು ಅನಿಲವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದ್ದಿತು.

ಗಾಳಿ ಮತ್ತು ಇತರ ಅನಿಲಗಳು ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುತ್ತವೆ (electrically neutral). ಇವುಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ ಅನಿಲದ ಅಣುಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ (ionization) ದ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳನ್ನೂ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳನ್ನೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಬಹುದು. ಹೀಗೆ ಅಣುವಿನ ವಿಭಜನೆಯಿಂದ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಅಯಾನುಗಳೂ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ (ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್) ಅಯಾನುಗಳೂ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅಯನೀಕರಣವೆಂದು (ionization) ಕರೆಯಬಹುದು. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಬೇರ್ಪಟ್ಟಿರುವ ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ ಅಯಾನುಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನು ಈಗ ಪ್ಲಾಸ್ಮ (plasma) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ವಿಶ್ವದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಕಾಯಗಳಲ್ಲಿರುವ ದ್ರವ್ಯರಾಶಿಗಳ ಬಹು ಭಾಗವು ಈ ಪ್ಲಾಸ್ಮ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇರುವುದು. ಆದರೆ, ಭೂಮಿಯಲ್ಲಿ ಇರುವ ಒತ್ತಡ ಮತ್ತು ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ, ದ್ರವ್ಯದ ಬಹುಭಾಗವು ಘನ, ದ್ರವ ಮತ್ತು ಅನಿಲಗಳೆಂಬ ಮೂರು ರೂಪಗಳಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪ್ಲಾಸ್ಮ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ದ್ರವ್ಯದ ನಾಲ್ಕನೆಯ ಸ್ಥಿತಿಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಈಗ ಒಂದು ಅನಿಲದ ಅಣುವನ್ನು ಅಯಾನುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ತರಬೇಕಾದರೆ, ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಬೇಕು. ಅಣುವಿನಿಂದ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಬೇಕು. ಈಗ ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಿರುವ ಪ್ರಕಾರ, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ (radioactive) ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳು, X–ಕಿರಣಗಳು, Y–ಕಿರಣಗಳು, ಅತಿನೀಲಬೆಳಕಿನಿಂದ

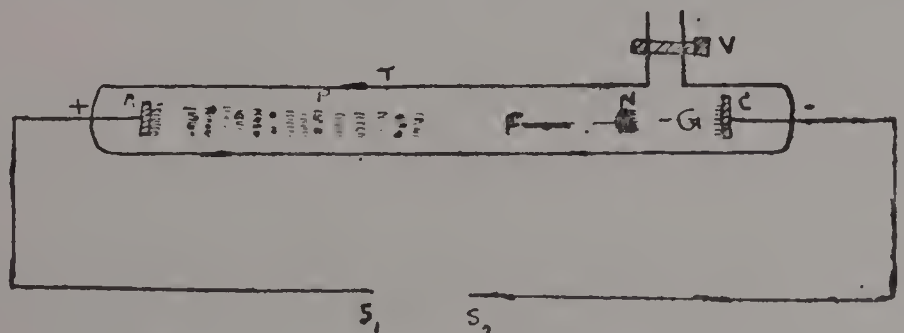
ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ವಿಕಿರಣ – ಇವುಗಳೆಲ್ಲ ಅನಿಲವನ್ನು ಅಯನೀಕರಣ ಮಾಡಿ ಅದನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ.

ಒಂದು ಉದ್ದವಾದ ಗಾಜಿನ ನಾಳಿಕೆಯ ಕೊನೆಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಲೋಹದ ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವ (electrodes) ಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ, ಆ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಬಹಳ ಕಡಮೆ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವಗಳನ್ನು ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರೇರೇಪಕ ಯಂತ್ರದ (induction coil) ಮೂಲಕ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಒತ್ತಡಕ್ಕೆ [(ಸುಮಾರು 10,000–15,000) ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳು] ಒಳಪಡಿಸಿದರೆ, ಆ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪ್ರಭೆಯನ್ನು (glow) ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡಬಹುದು.

1853 ರಲ್ಲಿ ಮ್ಯಾಸನ್ ಎಂಬ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ರೀತಿಯ ಪ್ರಭೆಯನ್ನು ಒಂದು ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರದರ್ಶನ ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದನು. ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ, ಗೈಸ್ಲರ್ (Geissler) ಎಂಬ ಜರ್ಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ವಿವಿಧ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡ ವಿಸರ್ಜನೆ ನಾಳಿಕೆಗಳನ್ನು (discharge tubes) ತಯಾರು ಮಾಡಿ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಧವಿಧವಾದ ಬಣ್ಣಗಳ ಬೆಳಕನ್ನು ಕಾಣುವಂತೆ ಮಾಡಿದನು. ನಿಯಾನ್, ಆರ್ಗಾನ್ ಮುಂತಾದ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಈ ನಾಳಿಕೆಗಳಿಂದ ಬರುವ ಬೆಳಕನ್ನು ಅಂಗಡಿಗಳಲ್ಲಿ ಆಕರ್ಷಕಗಳನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.

ಆದರೆ, ಈ ನಾಳಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಪ್ರಭೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಶಾಸ್ತ್ರೀಯವಾಗಿ ನಡೆಸಿ, ಅವುಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸುವ ಕೀರ್ತಿಯು ಸರ್ ವಿಲ್ಲಿಯಂ ಕ್ರೂಕ್ಸ್ (1832-1919) ಮತ್ತು ಜೆ. ಜೆ. ಥಾಂಸನ್ (1856-1940) ಎಂಬ ಬ್ರಿಟಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ ಸಲ್ಲತಕ್ಕದ್ದು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳು 19ನೆಯ ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟವು. ಇವುಗಳೇ ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ತಳಹದಿಗೆ ಕಾರಣವಾದುದರಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸುವುದು ಯುಕ್ತವಾಗಿಯೇ ಇದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ಮುಖ್ಯಾಂಶಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 4.1 ನಿರ್ವಾತ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆ

T ಎಂಬುದು ಒಂದು ಗಾಜಿನ ನಾಳಿಕೆ. ಇದರ ಉದ್ದ 40–50 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳಿರಬಹುದು. ಅಗಲ ಸುಮಾರು 3-4 ಸೆಂ.ಮೀ.ಗಳು. ಇದರ ಎರಡು ತುದಿಗಳಲ್ಲಿ A,C ಗಳೆಂಬ ಎರಡು ಲೋಹದ ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವಗಳು–ಒಂದು ತುದಿಯ ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ನಾಳಿಕೆಯ ಮೂಲಕ V ಎಂಬ ಪ್ರಬಲವಾದ ಪಂಪ್‌ಗೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದೆ. ಇದರ ದೆಸೆಯಿಂದ ನಾಳಿಕೆಯೊಳಗಿರುವ ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಹಂತ ಹಂತವಾಗಿ ಕ್ರಮೇಣ ಕಡಮೆ ಮಾಡುವ ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯ ಒತ್ತಡವನ್ನು 760 ಮಿ.ಮೀ. ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ, ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವನ್ನು 1 ಮಿ.ಮೀ., 01, 001 ಮಿ.ಮೀ. ಗಳಿಗಿಂತ ಕಡಮೆ ಮಾಡುವಷ್ಟು ಪ್ರಭಾವಶಾಲಿಯಾದ ಪಂಪನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಎರಡು ತುದಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಮೊಹರಾಗಿರುವ A,C ಧ್ರುವಗಳನ್ನು ತಂತಿಗಳ ಮೂಲಕ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರೇರೇಪಕ ಯಂತ್ರದ ದ್ವಿತೀಯ ತಂತಿಯ ತುದಿಗಳಿಗೆ S_1, S_2 [secondary terminals] ಬಂಧಿಸಬೇಕು. ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (potential difference), ಸುಮಾರು 50,000 V ಗಳವರೆವಿಗೆ ಇರಬಹುದು.

ಈ ವಿದ್ಯುತ್ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ, ಒಳಗಿನ ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಕ್ರಮೇಣ ಕಡಿಮೆಮಾಡುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಅದು 1 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಾದರೆ, ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಶಬ್ದ ಉಂಟಾಗಿ, A, C ಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾದ ಕೆಂಪು ಅಥವಾ ನೀಲಿ ಬಣ್ಣದ ಎಳೆ (streak) ಯು ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, ಅನಿಲವು ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕವಾಗಿ, ಅಯಾನುಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಇನ್ನೂ ಕಡಮೆಮಾಡಿ, ಅದು 1 ಮಿ.ಮೀ. ಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗುವ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವಣ ಬೆಳಕಿನ ಧಾರೆಯು ವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ.

ಒತ್ತಡವು ಸುಮಾರು 0.1 ಮಿ.ಮೀ. ಆಗುವಾಗ, ಕಾಣುವ ದೃಶ್ಯವನ್ನು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ (ಚಿತ್ರ 4.1). ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳು ಹೀಗಿವೆ.

C–ಧ್ರುವವನ್ನು ಆವರಿಸಿರುವ ಒಂದು ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಪ್ರಭೆ.

Cr– ಪ್ರಭಾಹೀನ (dark) ವಾದ ಕ್ಷೇತ್ರ–ಕ್ರೂಕ್ಸ್ ಕಪ್ಪುಪ್ರದೇಶ.

N–ಪ್ರಕಾಶವಾದ ಪ್ರದೇಶ-ಋಣಪ್ರಭೆ (negative glow).

F–ಪ್ರಭಾಹೀನವಾದ ಫ್ಯಾರಡೆ ಕಪ್ಪುಪ್ರದೇಶ (Faraday dark space).

P– ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾದ ಉದ್ದ ಪ್ರದೇಶ-ಧನಸ್ಥಂಭ (positive column).

ಇವರಲ್ಲಿ ಪರ್ಯಾಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು, ಕಡಮೆ–ಪ್ರಕಾಶದ ಗೆರೆಗಳು (striations) ಕಾಣುತ್ತವೆ. ಇದು ಆ್ಯನೋಡ್ ಧ್ರುವ (A) ವರೆವಿಗೂ ಪ್ರಸರಿಸಿರುತ್ತದೆ.

ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವದ ಬಹು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣವು C—N ಗಳ ನಡುವೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಒತ್ತಡವನ್ನು ಇನ್ನೂ ಕಡಮೆಮಾಡಿ ಅಂದರೆ, 0.01,0.001 ಮಿ.ಮೀ. ಗಳಾಗುವಂತೆ ಆದರೆ, P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಉದ್ದದ ಪ್ರಕಾಶ ಪ್ರದೇಶವು ಕಡಮೆಯಾಗಿ, ಕೊನೆಗೆ ಮಾಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇಡೀ ನಾಳಿಕೆಯು Cr ಪ್ರದೇಶದಿಂದ ಆವೃತವಾಗಿ, ನಾಳಿಕೆಯ ಒಳಭಾಗಗಳಿಂದ ಒಂದು ಜ್ಯೋತಿಯು (fluorescence) ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಕಡಮೆ ಒತ್ತಡಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಜ್ಯೋತಿಯೂ ಮಾಯವಾಗಿ ಇಡೀ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಅಂಧಕಾರವು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಆಗ, ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್‌ಧ್ರುವದಿಂದ (C) ಒಂದು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದ ಪ್ರಕಾಶದ ಧಾರೆಯು ಒಂದು ಸರಳರೇಖೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ಧಾರೆಯನ್ನೇ ನಾವು ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳೆಂದು (cathode rays) ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ.

4.2 ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳು

ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ ಒಂದು ಉದ್ದವಾದ ಗಾಜಿನ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಗುಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಕೆಲವು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ಗುಣಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದುವುಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.

(i) ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು, ಋಣಧ್ರುವದಿಂದ (ಕ್ಯಾಥೋಡ್) ಹೊರ ಬಿದ್ದು, ನೇರವಾಗಿ ಸರಳರೇಖೆಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ, ಅಡ್ಡಲಾಗಿ, ಒಂದು ಪ್ರತಿಬಂಧಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಇಟ್ಟರೆ, ಅದರ ಛಾಯೆಯು ನಾಳಿಕೆಯ ಹಿಂಭಾಗದಲ್ಲಿ ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರದೀಪ್ತಿಗೊಳ್ಳುವ ವಸ್ತುವಿನ (fluorescent, ಲೇಪವನ್ನು ಮಾಡಿದ್ದರೆ, ಛಾಯೆಯ ಆಕಾರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಭೆಯು ಇರುವುದಿಲ್ಲ.

(ii) ಈ ಕಿರಣಗಳು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಬಾಗುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಪಥವು ಪಲ್ಲಟವಾಗುತ್ತದೆ.

(iii) ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವೂ ಕೂಡ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಬಾಗುವಿಕೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸ ಬಲ್ಲುದು.

(iv) ಈ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ವಸ್ತುಗಳ ತೆಳುವಾದ ಪದರಗಳನ್ನು ತೂರುವ ಶಕ್ತಿಯಿದೆ.

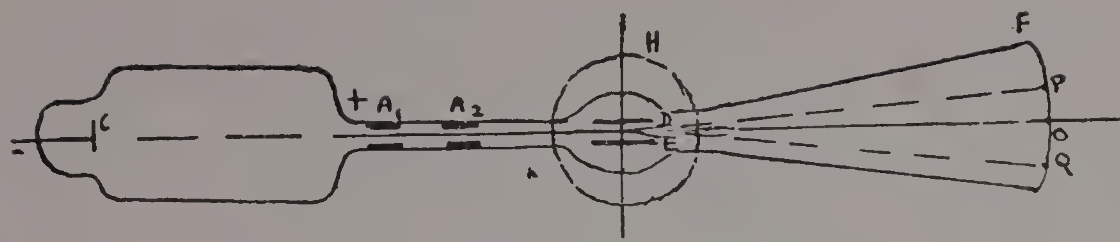
(v) ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಬಾಗುವಿಕೆಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದಲ್ಲಿ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವು ಇರುವುದನ್ನು ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಬಹುದು.

(vi) ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿ ಇದ್ದು ಇದು ಅವುಗಳ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವೇಗದಿಂದ ಉಂಟಾಗಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ವಿದ್ಯುತ್‌ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಿಭವದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಕಿರಣಗಳ ವೇಗವನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಈ ವೇಗವು ಸುಮಾರು 10^7 ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್‌ಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು.

(vii) ಜೆ. ಜೆ. ಥಾಂಸನ್ ಮಾಡಿದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನೂ (e) ಖಚಿತವಾದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (m) ವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು ಅವುಗಳ ದಾಮಾಶಯ (ratio) $\frac{e}{m}$ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಯಾವುದೇ ಅನಿಲವಿರಲಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವಗಳು ಯಾವ ಲೋಹದಿಂದಲಾದರೂ ತಯಾರಿಸಲಿ, $\frac{e}{m}$ ಪ್ರಮಾಣವು ಒಂದೇ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ, ಈ ಕಿರಣಗಳು ಮೂಲಭೂತವಾದ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವೆಂದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ವಿವಿಧ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗಬಲ್ಲ 'ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್' ಎಂದು ಹೆಸರಾಗಿರುವ ಕಿರಣಗಳು $\frac{e}{m}$ ಪ್ರಮಾಣವು ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಕಂಡುಬಂದಿರುವ ಪ್ರಮಾಣದಷ್ಟೇ ಇರುವುದರಿಂದ ಆ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಕಣಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೇ ಎಂದು ಖಚಿತಗೊಂಡಿತು. ಹೀಗಾಗಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಗಿದ್ದು, ಅದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಅತಿಕನಿಷ್ಠ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿಯೂ, ಹಾಗೆಯೇ ವಿದ್ಯುದಂಶ ಪ್ರಮಾಣವೂ ಒಂದು ಅವಿಭಾಜ್ಯಮಾನವಾಗಿಯೂ ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಲು ಸಹಾಯಕವಾದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

4.3 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ $\frac{\text{‘}e\text{’}}{m}$; ಥಾಂಸನ್ ಪ್ರಯೋಗ

ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಜೋಡಿ ಹೆಸರುಗಳು ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಜೆ. ಜೆ. ಥಾಂಸನ್ ಮತ್ತು ಜಿ. ಪಿ. ಥಾಂಸನ್ (ತಂದೆ, ಮಗ); ಡಬ್ಲ್ಯೂ. ಎಚ್. ಬ್ರ್ಯಾಗ್ (ತಂದೆ) ಮತ್ತು ಡಬ್ಲ್ಯೂ. ಎಲ್. ಬ್ರ್ಯಾಗ್ (ಮಗ); ಹಾಗೂ ಎಂ. ಕ್ಯೂರಿ (ತಾಯಿ), ಎಲ್. ಕ್ಯೂರಿ (ಮಗಳು); ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದುವು. ತಮ್ಮ ಸ್ವಂತ ಅರ್ಹತೆಗಳಿಂದಲೇ ಎಲ್ಲರಿಗೂ ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕಗಳು ಲಭಿಸಿದುವು. ಈಗ 1897 ರಲ್ಲಿ ಜೆ. ಜೆ. ಥಾಂಸನ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡೋಣ.



ಚಿತ್ರ 4.2 ಥಾಂಸನ್ ಪ್ರಯೋಗ

T ಎಂಬುದು ಒಂದು ಗೋಳಾಕೃತಿಯ ನಾಳಿಕೆ. ಇದರ ಒಳಗಿರುವ ಪ್ರದೇಶ ವನ್ನು ನಿರ್ವಾತವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಿ ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡದ ಪ್ರಮಾಣವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರು ತ್ತದೆ. C ಎಂಬುದು ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಧ್ರುವ. A_1, A_2 ಅತಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ ಲೋಹದ ಸಣ್ಣ ಪ್ಲಗ್‌ಗಳು. C ಧ್ರುವಕ್ಕೂ A_1 ಗೂ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವವನ್ನು ಕೆಲವು ದಶ ಸಹಸ್ರ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿಡಬಹುದು. C ನಿಂದ ಹೊರಸೂಸುವ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು ನೇರವಾಗಿ ಪ್ರಸಾರವಾಗಿ, ಸಂಕುಚಿತ ಸರಳರೇಖೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಟು ನಾಳಿಕೆಯ ಹಿಂಭಾಗದ ತೆರೆ (F) ಯ ಮೇಲೆ ಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ತೆರೆಯ ಮೇಲ್ಮೈಯು ಒಂದು ಪ್ರದೀಪನ ವಸ್ತುವಿನ ಲೇಪವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ, ಕಿರಣಗಳು ಆಘಾತವಾಗುವ ಬಿಂದು (O) ವು ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶ ಚುಕ್ಕೆ ಯಂತೆ ಇರುತ್ತದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ಮುಖ್ಯ ಧ್ಯೇಯವೇನೆಂದರೆ, ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳನ್ನು ಏರ್ಪಡಿಸಿ, ಕಿರಣ ಗಳು ಹೊಂದುವ ಪಲ್ಲಟಗಳನ್ನು ಅಳೆಯುವುದು.

ಇದಕ್ಕಾಗಿ D, E ಎರಡು ಲೋಹದ ಫಲಕಗಳನ್ನು ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದೆ. D, E ಗಳನ್ನು ಹಲವು ನೂರು ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ + ಮತ್ತು − ಧ್ರುವಗಳಿಗೆ ಬಂಧಿಸಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ ಇದೇ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಚಿತ್ರದ ಸಮತಲಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ (H) ವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಬಹುದು. ಹೀಗಾಗಿ, ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು CO ನೇರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರವಾಗುವಾಗ, ಅವುಗಳು D, E ಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ (ಸ್ಥಾಯೀ) ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವಾಗ, ಅವುಗಳ ಮಾರ್ಗಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿ ಅಂದರೆ, (DE ನೇರದಲ್ಲಿ) ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಇರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವು X ಆಗಿರಬಹುದು. ಇದರ ಫಲದಿಂದ, ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗ ಪಲ್ಲಟವಾಗಿ, ಅವುಗಳು ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ P ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸಬಹುದು. OP = x ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ಅಳೆಯಬಹುದು.

ಎರಡನೆಯ ಪ್ರಯೋಗದ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ತೆಗೆದುಹಾಕಿ ಅದರ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿಯೇ (ಅಂದರೆ, D, E ಗಳ ನಡುವೆ) H ಎಂಬ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ ವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಬೇಕು. ಇದರ ದಿಕ್ಕು CO ಮತ್ತು DE ಗಳಿಗೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವ

ಅಕ್ಷರದಲ್ಲಿರಬೇಕು (ಚಿತ್ರದ ಸಮತಲಕ್ಕೆ ಲಂಬದಲ್ಲಿ). ಈ ದಿಕ್ಕನ್ನು ಕ್ರಮಪಡಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, ಕಿರಣಗಳು ಚಿತ್ರದ ಸಮತಲದಲ್ಲಿಯೇ ಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಅವುಗಳು F ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ, Q ಬಿಂದುವಿನ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದರೆ, ಪ್ರಕಾಶ ಚುಕ್ಕೆಯು Q ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಪಲ್ಲಟವನ್ನು (OQ) ಅಳೆಯಬಹುದು.

ಕಿರಣಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶವು e, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ m, ಮತ್ತು ಚಲನ ವೇಗ v ಆಗಿದ್ದರೆ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ v ಮತ್ತು ಅದರ ಮೂಲಕ $\frac{e}{m}$ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

X ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಬಲವು F ಆದರೆ,

$$F_1 = Xe \qquad \dots \quad 4.1$$

ಮೇಲಿನ ಪ್ರಯೋಗದ ಪ್ರಕಾರ, H ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪಲ್ಲಟವು (OQ), OP ಗೆ ಸಮನಾಗಿದ್ದು, ಅದಕ್ಕೆ ವಿರೋಧ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿದ್ದರೆ, H ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಬಲವು $F_2 = Hev$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ ಮತ್ತು F_1, F_2 ಗಳು ಸಮನಾಗಿದ್ದು, OP, OQ ಗಳು (ಮೇಲೂ ಕೆಳಗೂ) ವಿರೋಧ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿದ್ದರೆ, X ಮತ್ತು H ಕ್ಷೇತ್ರಗಳು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗವಾದರೆ, ಕಿರಣಗಳ ಒಟ್ಟು ಪಲ್ಲಟವು $OP - OQ = 0$ ಆಗಬೇಕು. ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಕಿರಣಗಳು O ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿಯೇ ಆಘಾತವಾಗುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಪಲ್ಲಟವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸನ್ನಿವೇಶದಲ್ಲಿ $F_1 = F_2$ ... 4.2

$$\therefore \quad Xe = Hev$$

$$v = \frac{X}{H} \qquad \dots \quad 4.3$$

ಇದರಿಂದ ಕಣಗಳ ವೇಗವು ಗೊತ್ತಾದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದಾದ ಮೇಲೆ, X ಕ್ಷೇತ್ರವಿಲ್ಲದೆ, ಬರೀ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ (H) ವು ಮಾತ್ರ ವಿದ್ದಾಗ, ಪಲ್ಲಟದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

$OQ = x$ ಆಗಿರಲಿ.

ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳ ದೂರಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು

$$x = \tfrac{1}{2} k \cdot \left(\frac{He}{m}\right) \frac{l^2}{v} \qquad \dots \quad 4.4$$

ಎಂಬ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, $\frac{e}{m}$ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

K, *l* ಗಳನ್ನು ಉಪಕರಣದ ಅಳತೆಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತುಮಾಡಲಾಯಿತು.

ಅಳತೆಗಳನ್ನು M.K.S. ಮಾನಗಳಲ್ಲಿ (ಮೀಟರ್, ಕಿಲೋಗ್ರಾಂ, ಸೆಕೆಂಡ್) ಇಟ್ಟರೆ,

$$\frac{e}{m} = 1 \cdot 759 \times 10^{11} \frac{\text{ಕೂಲಾಂಬ್}}{\text{ಕಿಲೋಗ್ರಾಂ}} \quad \ldots \quad 4 \cdot 5$$

ಎಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು.

4.4 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶ 'e' – ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಪ್ರಯೋಗ.

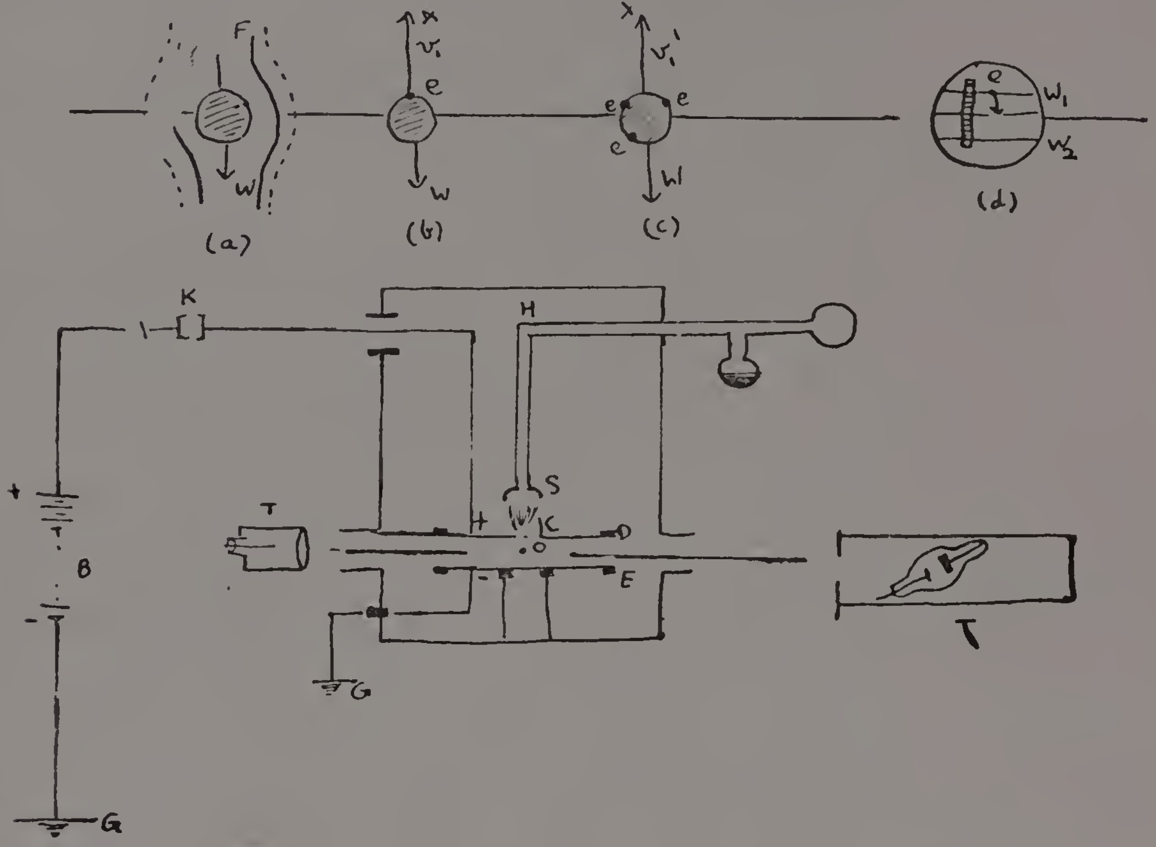
ಆರ್. ಎ. ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ (1868-1953) ಒಬ್ಬ ಅಮೆರಿಕನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಇವನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್, ಕಾಸ್ಮಿಕ್ ಕಿರಣಗಳು ಮುಂತಾದ ಹಲವು ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿ, 1923 ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವನ್ನು ಪಡೆದನು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ (e) ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ಖಚಿತವಾಗಿ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಆತನ ಕೀರ್ತಿಯು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದುದು. ಪ್ರಯೋಗದ ಕುಶಲತೆಯನ್ನೂ ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ ಬೇಕಾದ ಸಹನೆ ಮತ್ತು ಆಶಾಭಾವನೆಗಳನ್ನೂ ಪ್ರದರ್ಶಿಸತಕ್ಕ ಆತನ ತೈಲಬಿಂದು ಉಪಕರಣವು (oil drop apparatus) ಎತ್ತಿ ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರ ಸ್ಥೂಲ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರಗಳಿಂದ ಕಾಣಬಹುದು.

ಈ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ವೀಕ್ಷಣೆ ಮತ್ತು ಅಳತೆಗಳೆಲ್ಲವೂ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ತೈಲ ಹನಿಯು (oil drop), ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಅದರ ಮೇಲೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೇರಿಸಿದಾಗ, ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಚಲನೆ ಮಾಡುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿದೆ. ಉಪಕರಣದ ವಿವಿಧ ಭಾಗಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ 4.3 ರೊಂದಿಗೆ ವಿವರಿಸಬಹುದು.

H ಎಂಬುದು ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ವೀಕ್ಷಣೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ಅರೆ (chamber). ಇದರೊಳಗೆ ನಡೆಯುವ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳನ್ನು ಸ್ಥಿಮಿತಗೊಳಿಸಲು ಅದನ್ನು ಒಂದೇ ಉಷ್ಣಾಂಶದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ತೈಲ ಆವರಣ (ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿಲ್ಲ) ದಿಂದ ಆವರಿಸಿರಬಹುದು.

D, E ಗಳು ಎರಡು ಸಮಾನಾಂತರ ಲೋಹದ ಫಲಕಗಳು. ಇವುಗಳ ಅಂತರವು ಸುಮಾರು 1.6 ಸೆಂ. ಮೀ. ಇರಬಹುದು. ಮೇಲಿನ ಫಲಕದ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ರಂಧ್ರವಿದ್ದು ಇದರ ಮೂಲಕ S ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ತೈಲದ ಧಾರೆಯ ತುಂತುರು (spray of oil drops) ಫಲಕಗಳ ಮಧ್ಯೆ ಬೀಳಲು ಸಹಾಯಕವಾಗುತ್ತದೆ. A, S ಎಂಬುದು ತೈಲವನ್ನು ತುಂತುರುಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಿ, S ಮೂಲಕ ಹೊರಸೂಸುವ ಯಂತ್ರ (Atomizer) D ಎಂಬ ಫಲಕವನ್ನು

ಸುಮಾರು 10,000 ವೋಲ್ಟುಗಳವರೆಗೆ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವವನ್ನು ಕೊಡತಕ್ಕ B ಎಂಬ ಬೃಹತ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಧನ (+) ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಬಂಧಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ



ಚಿತ್ರ 4.3 ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ತೈಲಬಿಂದು ಉಪಕರಣ

ಕೋಶದ ಋಣ ಧ್ರುವವನ್ನೂ E ಫಲಕವನ್ನೂ G ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಭೂಮಿಯೊಂದಿಗೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಬಹುದು.

ವೀಕ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗುವ ಒಂದೇ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ತೈಲದ ಹನಿ (O), D ಯ ರಂಧ್ರದ ಮೂಲಕ ಹೊರಬಿದ್ದು D, E ಗಳ ನಡುವಣ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಇಳಿಯುವಾಗ, ಅದರ ಚಲನವನ್ನೂ ಚಲನ ವೇಗವನ್ನೂ ಅಳತೆ ಮಾಡುವುದಕ್ಕಾಗಿ, ಅದರ ನೇರದಲ್ಲಿ ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿರುವ T ಎಂಬ ಸಣ್ಣ ಸಂಗಮದೂರದ ದೂರದರ್ಶಕದ ಮೂಲಕ ದೃಷ್ಟಿಪಥದಲ್ಲಿ ಬರುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ವೀಕ್ಷಣವು ಆಕರ್ಷಣೀಯವಾಗಿರುವಂತೆ ಆ ಹನಿಯ ಮೇಲೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾದ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು ಬೀಳುವಂತೆ (ದೀಪವನ್ನು ತೋರಿಸಿಲ್ಲ) ಅಳವಡಿಸಬಹುದು. ಹನಿಯು ಇಳಿಯುವಾಗ ಅದರ ಚಲನವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಗತಿಯ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ದೂರದರ್ಶಕದ ದೃಷ್ಟಿಕ್ಷೇತ್ರ ಒಂದು ಮಿ. ಮೀ. ಸ್ಕೇಲನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿದೆ. ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರ 4.3 (d) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

ತೈಲದ ಹನಿಯ ಮೇಲೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೇರಿಸಲು, ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಅಯಾನು (ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ) ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡಲು, ಬಲಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ

ತೋರಿಸಿರುವ X – ಕಿರಣಯಂತ್ರವನ್ನು (T) ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಹಲವಾರು ಅಯಾನುಗಳು ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ, ತೈಲ ಹನಿಯು ಇಳಿಯುತ್ತಿರುವಾಗ ಅದರ ಮೇಲೆ ಒಂದು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಅಂಟಿಕೊಳ್ಳಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ತೈಲಹನಿಯ ತೂಕವು, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ತೂಕದೊಂದಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶ ಪ್ರಮಾಣವು ಗಣನೀಯವೇ ಹೊರತು, ಅದರ ತೂಕವನ್ನು ಲೆಕ್ಕಕ್ಕೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗಿಲ್ಲ.

ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಈ ರೀತಿ ಇವೆ.

(i) ಒಂದೇ ಒಂದು ತೈಲ ಹನಿಯನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿ, D, E ಗಳ ನಡುವೆ ಕೇವಲ ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಬೀಳುತ್ತಿರುವಾಗ, ಅದರ ಅಂತಿಮ ವೇಗವನ್ನು (v_0) ಅಳೆಯಬೇಕು. ಈಗ, X–ಕಿರಣಯಂತ್ರವೂ ಕೆಲಸ ಮಾಡದೆ ಇದ್ದರೆ, D, E ಗಳ ನಡುವೆ ಯಾವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನೂ ಕಲ್ಪಿಸಕೂಡದು. ಆಗ, ಆ ಬಟ್ಟಿನಮೇಲೆ, ಮೇಲಿಂದ ಕೆಳಗಿನ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಅದರ ಗುರುತ್ವ ಬಲವೂ ($W = mg$) ವಿರೋಧ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಮೇಲ್ಗಡೆ F ಎಂಬ ಅನಿಲದ ಸ್ನಿಗ್ಧತೆ (viscosity) ಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಬಲವೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಸ್ಟೋಕ್ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ಇದರ ಅಂತಿಮ ವೇಗ (terminal velocity) v_0 ಗೊತ್ತಾದರೆ, ಹನಿಯ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (m) ವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

(ii) ಈಗ D ಫಲಕವನ್ನು B ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಮೂಲಕ ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (potential difference) Vಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, D,E ಗಳ ನಡುವಣ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಅಯಾನುಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡಿದರೆ, ಹನಿಯ ಮೇಲೆ ಎರಡು ಬಲಗಳು ಏರ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರ (b) ಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. X ಎಂಬುದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರಫಲ (electric intensity) ಆದರೆ, ಊರ್ಧ್ವ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ Xe ಎಂಬ ಬಲವು ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದೇ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಅಂಟಿಕೊಂಡಿದೆ ಎಂದು ಭಾವಿಸಿದಾಗ ಇರುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ. ಅದೋ ನೇರದಲ್ಲಿ mg ಬಲವು ಇರುವುದರಿಂದ, ಫಲಿತ ಬಲವು ಊರ್ಧ್ವ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ (xe–mg) ಆಗಿ, ಇದರ ದೆಸೆಯಿಂದ v_1 ಎಂಬ ಅಂತಿಮ ವೇಗವು ಮೇಲಿನ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ.

ಇಲ್ಲಿ $X = \frac{V}{d}$ ($d = D_1E$ ಗಳ ನಡುವಿನ ದೂರ) ... 4.6

ನಾವೇನಾದರೂ X ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಏರಿಸುವಾಗ, ಒಂದು ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿಟ್ಟರೆ ಊರ್ಧ್ವ ಮತ್ತು ಅಧೋಬಲಗಳು ಸಮನಾಗಿರುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ ಏರ್ಪಡಿಸಬಹುದು. ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ

$$Xe = mg \quad \ldots \quad 4.7$$

ಆಗಿ, ಹನಿಯು ನಿಶ್ಚಲವಾಗುವ ಸ್ಥಿತಿ ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಮಿಲ್ಲಕನ್, ತಾನು ಮಾಡಿದ ಸಾವಿರಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಇಂಥ ಸನ್ನಿವೇಶವನ್ನು ಏರ್ಪಡಿಸಿ, ಒಂದು ತೈಲಹನಿ ನಿಶ್ಚಲವಾಗಿ, ಹಲವಾರು ಘಂಟೆಗಳ ಕಾಲ, ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುವುದನ್ನು ಕಂಡು ಚಕಿತ ನಾದನು. ಈ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ

$$e = \frac{mg}{X} \quad \ldots \quad 4.8$$

ಬಲಗಡೆಯಿರುವ ಅಳತೆಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, 'e' ಎಂಬ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಹೊಂದಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಆದರೆ, ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡುವಾಗ, ತೈಲದ ಹನಿಯಮೇಲೆ ಒಂದೇ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾತ್ರ ಅಂಟಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ ಎಂದು ಹೇಳಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಅಯಾನುಗಳೂ ಇರಲು ಸಾಧ್ಯವಿರುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ಧನ ಅಯಾನುಗಳು ಅಂಟಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಅಂಟಿಕೊಂಡರೆ, ತೈಲದ ಬಟ್ಟು, D ಫಲಕದಕಡೆಗೆ, ವಿವಿಧ ವೇಗಗಳಿಂದ ಚಲಿಸಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ ಧನ ಅಯಾನುಗಳು ಹೇರಿಕೊಂಡರೆ, ಬಟ್ಟು E ಫಲಕದ ಕಡೆಗೆ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ. ಈ ವೇಗ ಗಳು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದರಿಂದ ಬಟ್ಟು ಚಲಿಸುತ್ತಿರು ವಾಗಲೇ, ಹೆಚ್ಚು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಅಂಟಿಕೊಂಡು ವೇಗದಲ್ಲಿ ತಕ್ಷಣವೇ ಬದಲಾವಣೆ ಯಾಗುತ್ತದೆ.

e_n ಎಂಬ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ (ಹಲವಾರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನು ಗಳು) ವೇಗವು v_n ಆಗಿಯೂ, e_n^1 ವಿದ್ಯುದಂಶದಲ್ಲಿ v_n^1 ಆಗಿಯೂ, ಇದ್ದರೆ, X ಎಂಬುದು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರ ಬಲವಾಗಿದ್ದಾಗ,

$$\frac{v_o}{v_n} = \frac{mg}{Xe_n - mg} \quad \ldots \quad 4.9$$

$$\frac{v_o}{v_n} = \frac{mg}{Xe_n^1 - mg}$$

$$\therefore \; e\frac{1}{n} \quad e_n = \frac{mg}{Xv_o}\,(v_n^1 - v_n) \quad \ldots \quad 4.10$$

ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಮಾಡಿದ ಸಾವಿರಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ವೀಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ $(v_n^1 - v_n)$ ಅಳತೆ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದನು. ಈ ಪರಿಶೀಲನೆಯಲ್ಲಿ ಅವನು ಕಂಡುಬಂದ ಫಲಿತಾಂಶವೇನೆಂದರೆ,

$(v_n^1 - v_n)$ ಪ್ರಮಾಣದ ಕನಿಷ್ಠ ಮೌಲ್ಯವು $(v_n^1 - v_n)_{min}$ ಆದರೆ, ಉಳಿದ ಪ್ರಮಾಣಗಳೆಲ್ಲವೂ ಈ ಕನಿಷ್ಠ ಪ್ರಮಾಣದ ಪೂರ್ಣಾಂಕ ಗುಣಾಂಕಗಳಿಗಿದ್ದುವು (1,2,3, – –). ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಕನಿಷ್ಠ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ

$$e = \pm \frac{mg}{Xv_o}(v^I{}_n - v_n)_{m\ n} \qquad \ldots \quad 4.11$$

ಇದರಿಂದ 'e' ಪ್ರಮಾಣವು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿತು. 1909 ರಿಂದ 1917 ವರೆವಿಗೆ ನಡೆಸಿದ ಹತ್ತಾರುಸಾವಿರ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶವಾಗಿ, ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಮೌಲ್ಯವು

$e = 1.602 \times 10^{-19}$ ಕೂಲಾಂಬ್ ಎಂದು ನಿರ್ಧರಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ... 4.12

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪರಮಾಣ್ವೀಯ (atomicity) ಸ್ವರೂಪವು ಖಚಿತವಾಯಿತು. ಅಂದರೆ, ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳು, ಋಣವೇ ಆಗಲಿ, ಧನವೇ ಆಗಲಿ, e,2e,3e,...ne, ಆಗಿರಬಹುದೇ ಹೊರತು, ಭಿನ್ನಾಂಶವಾಗಿರಲಿಕ್ಕಿಲ್ಲ. ಹಾಗೂ 'e' ಎಂಬ ಮೌಲ್ಯವು ಕನಿಷ್ಠವಾದುದು.

4.5 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ 'm'

ಥಾಂಸನ್ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಕಂಡುಬಂದಂತೆ

$$\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11} \ \frac{\text{ಕೂಲಾಂಬ್}}{\text{ಕಿ. ಗ್ರಾಂ.}} \qquad \ldots \quad 4.13$$

ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ ಕೂಲಾಂಬ್}$$

$$\therefore\ m = \frac{e}{e/m} = \frac{1\cdot602 \times 10^{-19}}{1\cdot76 \times 10^{11}} = 9\cdot107 \times 10^{-31} \text{ ಕಿ. ಜಿ.} \quad \ldots \quad 4.15$$

ಈಗ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಹಲವಾರು ವಿಧಾನಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡಿ, ಅದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರೂ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿರುವ ಮೌಲ್ಯವೇ ಖಚಿತಪಟ್ಟಿರುವುದರಿಂದ, ಈ ಕಣವು ಮೂಲಭೂತವಾಗಿ, ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿದ್ದು, ಅತ್ಯಂತ ಕನಿಷ್ಟ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು, ಕನಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವುದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿದೆ. ವಸ್ತು ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯ ಪರಮಾಣು ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡಿದಂತಾಯಿತು. ಹಿಂದಿನ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ (Electrolysis) ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ

ಕಂಡು ಬಂದ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬಹುದು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ದ್ರವಣ ಅಣುಗಳ ಚಲನವಲನಗಳಿಗೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡಿರುವ ಸೂತ್ರಗಳ ಪ್ರಕಾರ, 1ಗ್ರಾಂ ವೋಲ್ ತೂಕದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಶೇಖರಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು 1 ಫ್ಯಾರಡೆಯೆಂದು ಕರೆದರೆ, ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವು 96490 ಕೂಲಾಂಬ್‌ಗಳೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

1 ಗ್ರಾಂ ಆಟಂನಲ್ಲಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಅವಗ್ಯಾಡ್ರೋ ಸಂಖ್ಯೆ (N) ಎಂದು ಕರೆದರೆ, ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಮೇಲೆ ಒಂದಂ ವಿದ್ಯುದಂಶ (e) ಇದ್ದರೆ

$$Ne = 96490 \text{ ಕೂಲಾಂಬ್} \qquad \ldots \quad 4.16$$

$$e = 1{\cdot}602 \times 10^{-19} \text{ ಕೂಲಾಂಬ್}$$

$$\therefore N = \frac{96490}{1{\cdot}602 \times 10^{-19}} = 6{\cdot}02 \times 10^{23} \qquad \ldots \quad 4.17$$

ಈಗ ಒಂದು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು, ಅದರ ಪರಮಾಣು ತೂಕವು M_H ಆದರೆ,

$$N.M_H = 1{\cdot}008 \text{ (ಜಲಜನಕದ ಗ್ರಾಂ–ಪರಮಾಣು ತೂಕ)}$$

$$\therefore M_H = \frac{1{\cdot}008}{6{\cdot}02 \times 10^{23}} = 1{\cdot}67 \times 10^{-24} \text{ ಗ್ರಾಂ} = 1{\cdot}67 \times 10^{-27} \text{ ಕಿ. ಗ್ರಾಂ.} \qquad \ldots \quad 4.18$$

$$m = \text{ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತೂಕ} = 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \text{ ಕಿ. ಗ್ರಾಂ.}$$

$$\therefore \frac{M_H}{m} = \frac{1{\cdot}67 \times 10^{-27}}{9.1 \times 10^{-31}} = \underline{1836} \qquad \ldots \quad 4.19$$

ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಕನಿಷ್ಠವೂ ಅವಿಭಾಜ್ಯವೂ ಎಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿದ್ದ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ M_H ಆದರೆ ಈಗಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (m) ವು $\frac{1}{1836} M_H$. ಆದ್ದರಿಂದ, ಕನಿಷ್ಠ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಸ್ಥಾನವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಸಲ್ಲಬೇಕಾಯಿತು. ಪರಮಾಣುವಿಭಜನೆಗೆ ಇದೊಂದು ಮೊದಲ ಹೆಜ್ಜೆಯಾಯಿತು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಪಾಲುಗೊಂಡಿರುವುದಲ್ಲದೆ ತನ್ನ ವಿಶಿಷ್ಟವಾದ-ಹಾಗೂ ಸರ್ವವ್ಯಾಪಕತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹಲವಾರು ಭೌತವಿದ್ಯಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದುವನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

4.6 X-ಕಿರಣಗಳು

X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದವನು ಜರ್ಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ವಿಲ್‌ಹಲ್ಮ್ ರಾಂಟ್‌ಜೆನ್. ಆತನು 1895ರಲ್ಲಿ ವೂರ್ಜ್‌ಬರ್ಗ್‌ನ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಯುಲ್ಲಿ ಕ್ರೂಕ್ಸ್ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದಾಗ, ಆಕಸ್ಮಿಕವಾಗಿ ವೀಕ್ಷಿಸಿದ ಕೆಲವು ವಿದ್ಯಮಾನಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿಯೇ ಈ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಿದನು. ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಕತ್ತಲೆಯಾಗಿದ್ದ ಕೊಠಡಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ನಡೆಯುತಿದ್ದರೂ, ದೂರದಲ್ಲಿದ್ದ ಒಂದು ಸ್ಫುರಣ ತೆರೆಯು (fluorescent screen) ಮಿನುಗಿತು. ಅದರ ಮೇಲೆ ಲೇಪದಂತಿದ್ದ ಬೇರಿಯಂ ಪ್ಲಾಟಿನೋಸಯನೈಡ್ ಹರಳುಗಳು ಒಂದು ಅವ್ಯಕ್ತ (X) ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಪ್ರದೀಪ್ತಿ (fluorescence) ಗೊಳ್ಳುವುದೇ ಅದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾಗಿರಬೇಕು. ಮತ್ತೂ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಮೇಜಿನ ಅರೆಯೊಳಗೆ ದಪ್ಪವಾದ ಕಪ್ಪು ಕಾಗದದಿಂದ ಸುತ್ತಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕಗಳು ಕೆಟ್ಟುಹೋಗಿ ಕೆಲಸಕ್ಕೆ ಬಾರದಂತಾದವು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಕಾರಣಭೂತವಾದ ಕಿರಣಗಳು ಏನೇ ಆಗಿರಲಿ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಸಾಮಾನ್ಯ ಬೆಳಕಿಗಿಂತ ಬಹುಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು. ಕತ್ತಲೆಯ ಕೊಠಡಿಯಲ್ಲಿ ಕಪ್ಪುಕಾಗದದಿಂದ ಮುಚ್ಚಲ್ಪಟ್ಟ ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರಫಲಕಗಳ ಮೂಲಕ ವ್ಯಾಪಿಸಲು ಸಾಮಾನ್ಯ ಬೆಳಕಿಗೆ ಶಕ್ತಿಯಿಲ್ಲ, ಈ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲು ರಾಂಟ್‌ಜೆನ್ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮತ್ತೆ ಮತ್ತೆ ಮಾಡಿ ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸಿದನು. ಆಕಸ್ಮಿಕ ಘಟನೆಗಳು ನಮ್ಮ ನಿತ್ಯ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಪದೇಪದೇ ನಡೆಯುತ್ತಲೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಇವುಗಳು ರಾಂಟ್‌ಜೆನ್ ಅಂಥ ತೀಕ್ಷ್ಣ ಬುದ್ಧಿಯುಳ್ಳ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಹಾದಿಯಲ್ಲಿ ಬಂದರೆ, ಅವರು ಕೂಲಂಕಷವಾಗಿ ಪರೀಕ್ಷಿಸಿ ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಕಾರಣರಾಗುತ್ತಾರೆ. ಆಯರ್‌ಸ್ಟೆಡ್ ಫ್ಯಾರಡೆ, ಮುಂತಾದ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಜೀವನವೂ ಇದಕ್ಕೆ ನಿದರ್ಶನವಾಗಿದೆ.

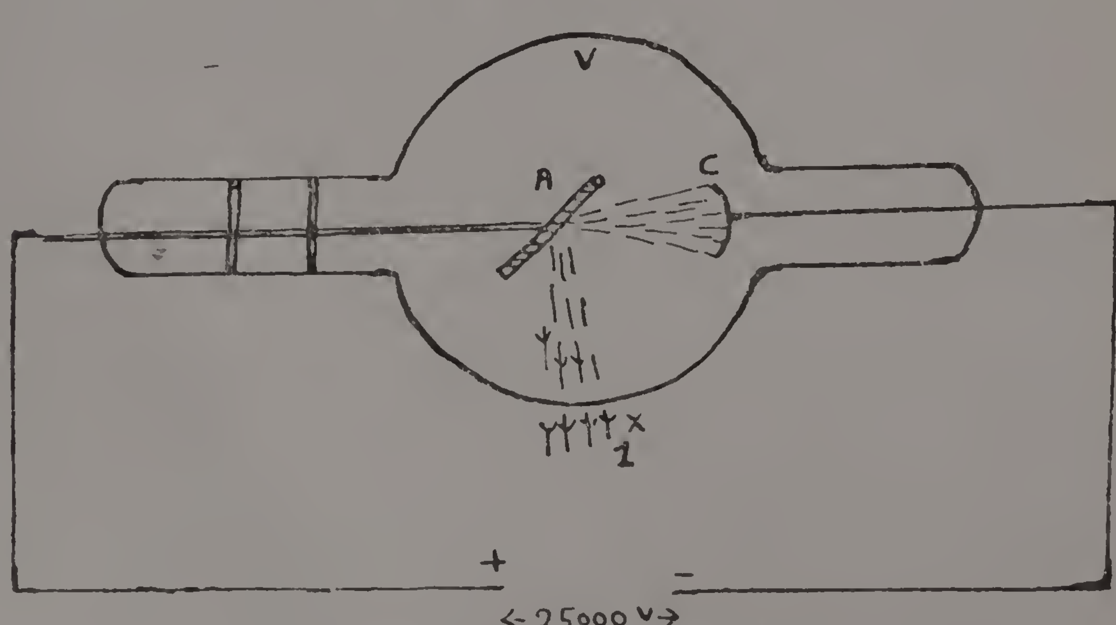
ಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಸ್ವಲ್ಪಕಾಲ ಹಿಡಿದರೂ, ಅವುಗಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲು ತಡವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಹಲವಾರು ವಸ್ತುಗಳು ಬೆಳಕಿಗೆ ಅಪಾರ ದರ್ಶಕವಾದರೂ, ಈ X-ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಪಾರದರ್ಶಕವಾಗಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಮಾನವನ ದೇಹವನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಹೊರಭಾಗದ ಚರ್ಮ, ಒಳಗಿರುವ ಸ್ನಾಯುಗಳು, ಮಾಂಸ ಖಂಡಗಳ ಮೂಲಕ ತೂರಿ, X–ಕಿರಣಗಳು ಮೂಳೆಗಳಿಂದ ಮಾತ್ರ ತಡೆಯಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಮನುಷ್ಯನ ದೇಹದ ಮೂಲಕ X–ಕಿರಣಗಳು ಹಾಯ್ದ ನಂತರ ಒಂದು ಸ್ಫುರಣ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಬೀಳುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ಕಾಣುವ ದೃಶ್ಯವು ಕೇವಲ ಮೂಳೆಗಳ ರಚನೆ (skeleton) ಮಾತ್ರ. ಇದೇ ರೂಪವನ್ನು ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಬಹುದು.

1896 ರಲ್ಲಿಯೇ, ಪ್ರಪಂಚದ ಹಲವಾರು ಮುಖ್ಯ ವೈದ್ಯಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಶಸ್ತ್ರ ಚಿಕಿತ್ಸೆಯಲ್ಲಿ ಇದರ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಕಂಡರು. ಗುಂಡು ಹೋಗಿ ಒಳಗೆ ಸಿಕ್ಕಿಕೊಳ್ಳುವುದು, ಮೂಳೆಗಳ ಮುರಿತ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ದೃಶ್ಯಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯಕ್ಷವಾಗಿ ಕಾಣಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೂ ಅದರ ತತ್ವಗಳನ್ನು ನಿತ್ಯ ಜೀವನದಲ್ಲಿಯೂ ಮಾನವನ ಕಷ್ಟ ಪರಿಹಾರಕ್ಕೂ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಲ್ಲಿ ಕಾಲ ವಿಳಂಬವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿದ್ದುದನ್ನು X. ಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ನೋಡಬಹುದು. ಈ ಅಂತರವು ಕೆಲವೇ ತಿಂಗಳುಗಳು ಮಾತ್ರ ಇದ್ದಿತು !

X-ಕಿರಣನಾಳಿಕೆ

X–ಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಅತಿವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳಾಗಲಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಾಗಲಿ, ತಮ್ಮ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಭಾರವಾದ (ಹೆಚ್ಚು ಪರಮಾಣು ತೂಕದ) ಲಕ್ಷ್ಯದಂತಿರುವ (target) ಘನ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ತಡೆಯಲ್ಪಡಬೇಕು. ಈ ಕಿರಣಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪಕಾಲದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ಒಂದು ಋಣವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ (retardation) ಒಳಗಾಗುತ್ತವೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಶಕ್ತಿಯವಿಕರಣ (radiation) ವಾಗಬೇಕು. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಲತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಸ್ಫುರಣಗಳು (pulses) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳು ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಗಳ ಕನಿಷ್ಠ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಸುಮಾರು $\frac{1}{1000}$ ಭಾಗದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನಿರ್ಧರಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ.

ಮೊಟ್ಟಮೊದಲಿನ ಮಾದರಿಯ X–ಕಿರಣ ನಾಳಿಕೆಯ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 4.4 X–ಕಿರಣಗಳ ನಾಳಿಕೆ

V ಎಂಬುದು ಗೋಳಾಕೃತಿಯ ನಾಳಿಕೆ. ಇದರೊಳಗಿನ ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿ ಅಂದರೆ 0.001 ಮಿ.ಮೀ ಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರಬಹುದು. A ಎಂಬುದೇ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತು. ಇದನ್ನು ಆ್ಯಂಟಿಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಮಾಲಿಬ್ಡಿನಂ ಅಥವಾ ಟಂಗ್‌ಸ್ಟನ್ ಲೋಹದ್ದಾಗಿರಬಹುದು. C ಎಂಬುದು ಪರವಲಯಾಕೃತಿ (concave) ಯ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ A ಮತ್ತು C ಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ತಂತಿಗಳ ಮೂಲಕ ಸುಮಾರು 25,000 ವೋಲ್ಟ್ ಅಥವಾ ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶಕ್ಕೆ ಅಳವಡಿಸಬಹುದು. ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರೇರಕ ಯಂತ್ರದ ಸೆಕೆಂಡರಿ ಧ್ರುವಗಳಿಗೆ ಬಂಧಿಸಬಹುದು. ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ, C ನಿಂದ ಹೊರಡುವ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು ಅವುಗಳ ಸಂಗಮಸ್ಥಳ (focus) ದಲ್ಲಿರುವ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದ ಆಘಾತ ಮಾಡುವಾಗ ಅದರಿಂದ X-ಕಿರಣಗಳು ಚದರಿದಂತೆ ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ವಿವಿಧ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಬಹುದು.

ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ, ಕೂಲಿಡ್ಜ್ (coolidge) 1913ರಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ದಕ್ಷತೆಯ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಅದರಲ್ಲಿ C ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಉಷ್ಣ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ರಿಯೆಯ ಮೂಲವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದನು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ತಂತಿಯಸುರಳಿ (filament) ಅಥವಾ ತಂತುವಿನ ಮೂಲಕ ಒಂದು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶ (low-tension battery) ದಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಹಾಯಿಸಬೇಕು.

ಇತ್ತೀಚಿನ ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಪ್ರಭಾವಶಾಲಿಯಾದ ಕಿರಣಗಳು ಬೇಕಾಗುವುದರಿಂದ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರೇರಕ ಯಂತ್ರಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಹೆಚ್ಚು ಒತ್ತಡದ ಪರಿವರ್ತಕಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ (high tension transformers). ಇವುಗಳಿಂದ 50,000 ಇಂದ ಸುಮಾರು 20 ಲಕ್ಷ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳವರೆಗೆ ಇರುವ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು, ಸೂಕ್ತಯಂತ್ರಗಳಿಂದ ಏಕಮುಖ (rectification) ಪರಿವರ್ತಿಸಿ ನಾಳಿಕೆಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು.

X– ಕಿರಣಗಳಶಕ್ತಿ

X-ಕಿರಣದ ನಾಳಿಕೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ X-ಕಿರಣಗಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯು ಆ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ A-C ಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (potential difference) ವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದು V ಆಗಿರಲಿ. e ಮತ್ತು m ಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶ ಮತ್ತು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಗಳಾದರೆ,

$$Ve = \frac{1}{2} mv^2. \quad \ldots \quad 4.20$$

v= ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ವೇಗ. ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ν=X–ಕಿರಣಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯಾಗಿಯೂ, h= ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನಿಯತಾಂಕ, λ = X-ಕಿರಣಗಳ ತರಂಗಾಂತರ; c= ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ, ಆದರೆ,

$$Ve = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{Ve}. \quad \ldots \quad 4.21$$

ಇದರಲ್ಲಿ ನಾವು ಗಮನಿಸಬೇಕಾದುದು ಏನೆಂದರೆ, V ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ λ_{min}, ಅಥವಾ ತರಂಗಾಂತರವು ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ತರಂಗಾಂತರವು ಕಡಮೆಯಾದಂತೆಲ್ಲ, ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯು ಪ್ರತಿಲೋಮ (inverse ratio) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ h, c, e ಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡರೆ

$$\underset{\text{(ಆಂಗ್‌ಸ್ಟ್ರಾಂಮ್)}}{\lambda_{min}} = \frac{12345}{\text{V (ವೋಲ್ಟ್)}} \text{ ಎಂದು ಬರೆಯುಬಹುದು} \quad \ldots \quad 4.22$$

v=12345 ವೋಲ್ಟ್ ಆದರೆ, X-ಕಿರಣಗಳ ಕನಿಷ್ಠ ತರಂಗ ದೂರವು 1 A°=10^{-8} ಸೆಂ.ಮೀ. ಆಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆಯೇ V= (ಸುಮಾರು) 1234500 ವೋಲ್ಟ್ ಆದರೆ, $\lambda=10^{-10}$ ಸೆಂ. ಮೀ. ಈ ಸರಳ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಡಾನ್-ಹಂಟ್ (Daune-Hunt) ಸಮೀಕರಣವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ.

X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಅವುಗಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಗಟ್ಟಿ (hard) ಮಧ್ಯಮ (medium) ಮತ್ತು ಮೃದು (soft) ಎಂದು ವಿಂಗಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳು ಪಾರಿಭಾಷಿಕ ಶಬ್ದಗಳಾಗಿದ್ದು, ಗಟ್ಟಿ ಎಂದರೆ ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದುದೆಂದು ಅರ್ಥ ; ಅಂದರೆ ಅದರ ತರಂಗಾಂತರವು 10^{-10}, 10^{-11}, ಸೆಂ.ಮೀ. ಆಗಿರಬಹುದು. ಮೃದು ಎಂದರೆ 1–10 ಆಂಗ್‌ಸ್ಟ್ರಾಂಮ್ ಮಾನಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿರಬಹುದೆಂದು ತಿಳಿಯ ಬೇಕು.

X – ಕಿರಣಗಳ ಗುಣಗಳು

(i) X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯುತವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ವಿಕಿರಣ ವೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು.

(ii) X-ಕಿರಣಗಳು ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಅಯನೀಕರಣ ಮಾಡುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದೆ. ಈ

ಅಯನೀಕರಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಹಲವು ಯಂತ್ರೋಪಕರಣಗಳು ನಿರ್ಮಿತವಾಗಿವೆ.

(iii) X–ಕಿರಣಗಳು ಕೆಲವು ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ (ಬೇರಿಯಂ ಪ್ಲಾಟಿನೋಸಯನೈಡ್) ಪ್ರದೀಪ್ತಿಯನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ.

(iv) X–ಕಿರಣಗಳು ವಿದ್ಯುತ್-ಕ್ಷೇತ ಗಳಿಂದಾಗಲಿ, ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದಾಗಲಿ, ಬಾಗಲಾರವು—(deflection).

(v) ಅನೇಕ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಗುಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಬೆಳಕಿನಂತೆಯೇ ವರ್ತಿಸುವುದರಿಂದ, X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಅತಿಪ್ರಭಾವಶಾಲಿಯಾದ ಮತ್ತು ಅತಿ ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರದ ಅದೃಶ್ಯ (invisible) ರೂಪದ ಬೆಳಕಿನಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಅಖಂಡ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯಲ್ಲಿ X-ಕಿರಣಗಳ ಸ್ಥಾನವು ಬೆಳಕಿನ ಆಚೆ ಇರುವ ಅತಿನೀಲ (ultra-violet) ಕ್ಕಿಂತಲೂ ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಇರುತ್ತದೆ.

(vi) X–ಕಿರಣಗಳ ಒಂದು ಕಂಡವನು ಚಿನ್ನದಂಥ ಒಂದು ಲೋಹದ ಅತಿ ತೆಳುವಾದ ಪದರದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ವಿವಿಧ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಉಂಟಾಗಬಹುದು. ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕೋನಗಳಲ್ಲಿ ಚದರಲ್ಪಟ್ಟು ಒಂದು ನಮುನ ಆಕೃತಿ (diffraction pattern) ಯನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶನ ಮಾಡಬಹುದು. ಇದೇ ಕಿರಣಗಳು ಕಣಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವಂತೆ, ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಣೆಯನ್ನು ಮಾಡಿ, ಅವುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರದೂಡುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಇದು ಬೆಳಕಿನ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ (photoelectric effect) ಯನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ.

X–ಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪ.

X–ಕಿರಣಗಳು ಬೆಳಕಿಗಿಂತ ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅದೃಶ್ಯ ಬೆಳಕಿನಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಈ ಹೋಲಿಕೆಯು ಅವುಗಳ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ.

ಬೆಳಕು ಅಲೆಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುವ ಗುಣವನ್ನು ವ್ಯತಿಕರಣ (interference) ನಮುನ (diffraction) ಮುಂತಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣುತ್ತೇವೆ. ನಮುನ ಜಾಲರಿ (diffraction grating) ಯ ಪ್ರಯೋಗ ಸಫಲವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ರೇಖೆಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರವು (grating space) ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಇದು 5×10^{-5} ಸೆಂ. ಮೀ. ಆಗಿದ್ದರೆ, ಆ

ಫಲಕಗಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸೆಂ.ಮೀ.ನಲ್ಲಿ 20,000 ರೇಖೆಗಳಿದ್ದಂತೆ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನು X-ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ತರಂಗಾಂತರವು ಸುಮಾರು 10^{-8} ಸೆಂ.ಮೀ. ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಇಂಥ ಪ್ರಮಾಣದ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವಣ ಬಿಡು ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ನಾವು ಹರಳುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಕಾಣುತ್ತೇವೆ. ಬ್ರ್ಯಾಗ್ (Bragg) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು, X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉಪ್ಪು ಹರಳಿನ (nacl) ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸುವುದರಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮ ಗಳನ್ನು ನಮನ ಆಕೃತಿ (diffraction patterns) ಗಳುಳ್ಳ ಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಿದನು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ X-ಕಿರಣಗಳ ತರಂಗದೂರವನ್ನೂ, ಹಾಗೂ ಹರಳುಗಳ ರಚನೆಯ ಮಾದರಿಗಳನ್ನೂ ನಿರ್ಧರಿಸಲು ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿದನು.

ಬೆಳಕಿನ ಕಣರೂಪವು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ, ವರ್ಣಪಟಲ ರಚನೆ ಮುಂತಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ವಿಧವಾದ ವರ್ತನೆಯನ್ನು X–ಕಿರಣಗಳೂ ಕೂಡ ತೋರ್ಪಡಿಸುತ್ತವೆ. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಕಾಂಪ್ಟನ್ (Compton) ಎಂಬ ಅಮೆರಿಕನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1924 ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ X–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಫೋಟಾನ್ (photon) ಕಣಗಳಂತೆ ಭಾವಿಸಲು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಯಿತು X–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಬಹಳ ತೆಳುವಾದ ಲೋಹದ ಪರೆಗಳಿಂದ ಚದರಗೊಳಿಸಿದಾಗ (scattering), ವಿವಿಧ ಕೋನಗಳ ನೇರದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಅಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ತರಂಗಾಂತರದ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು, ಒಂದು X-ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಒಂದು ಸ್ಥಿರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದು ವುದರಿಂದ, ಅದರ ಆವೇಗ (momentum) ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಸೂಕ್ತ ಸಮೀಕರಣಗಳಿಂದ ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಒಂದು ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಕ್ರಿಯೆ (Compton effect) ಎಂದು ಈಗ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿದೆ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ, ತರಂಗಾಂತರದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಉಳಿದ ಅನೇಕ ವಿದ್ಯ ಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿಗೂ X–ಕಿರಣಗಳಿಗೂ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಾಮ್ಯವು ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು.

X–ಕಿರಣಗಳ ಉಪಯೋಗಗಳು

ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ನಮ್ಮ ನಿತ್ಯ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದಾದ ಉಪಯೋಗಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, X–ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವವು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದುದು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಪ್ರಧಾನ ಉಪಯೋಗ ಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಈಗ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

1. ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ರಚನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ X-ಕಿರಣಗಳು ಬಹಳ ಸಹಾಯಕವಾಗಿವೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಹೊರ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಯಾವ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ವಲಯಗಳಲ್ಲಿ (shells) ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಲು X-ಕಿರಣ ವರ್ಣಪಟಲ ವಿಜ್ಞಾನವು (X-Ray Spectroscopy) ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದುದು.

2. X-ಕಿರಣಗಳ ಸಹಾಯದಿಂದ ಹರಳು ವಿಜ್ಞಾನವು (crystallography ಬಹಳ ಉತ್ತೇಜನವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಹರಳುಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯ ಬೇಕಾದರೆ ಇದೇ ಏಕೈಕ ವಿಧಾನ.

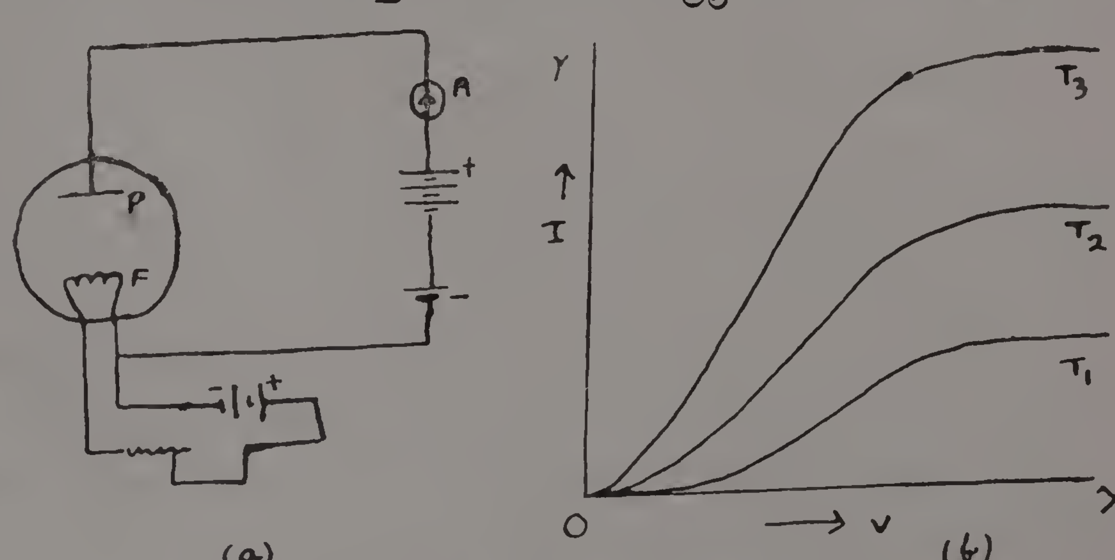
3. ಶಸ್ತ್ರ ಚಿಕಿತ್ಸೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ವೈದ್ಯ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, X-ಕಿರಣಗಳು ಅಪಾರವಾದ ಕ್ರಾಂತಿಯನ್ನೇ ಎಬ್ಬಿಸಿವೆ. ಹೆಚ್ಚು ಪರಮಾಣು ತೂಕದ ವಸ್ತುಗಳು-ರಂಜಕ ಮತ್ತು ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂನಂತೆ-ಮಾತ್ರ X-ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅಪಾರ ದರ್ಶಕಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಜಲಜನಕ, ಆಮ್ಲಜನಕ, ಸಾರಜನಕದಂತ ಹಗುರ ಧಾತುಗಳು ಪಾರದರ್ಶಕಗಳಾಗಿ ತೋರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದಲೇ, X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಮನುಷ್ಯನ ದೇಹದಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿ, ಒಂದು ಪ್ರದೀಪ್ತಿ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಕಾಣುವ ದೃಶ್ಯ ವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಕಾಣಿಸುವುದು ಬರೀ ಮೂಳೆಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ತೋರಿಸುವ ಛಾಯೆಗಳು. ಯಾವ ಹೊರಗಣ ವಸ್ತುವು (ಗುಂಡಿನಂಥ) ಒಳ ಹೊಕ್ಕಿದ್ದರೂ, ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಛಾಯೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದರಿಂದ ಶಸ್ತ್ರಚಿಕಿತ್ಸೆಗೆ ಬಹಳ ಉಪಯೋಗವಾಗುತ್ತದೆ. ಜಠರ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ತೋರುವ ವ್ಯಾಧಿಗಳನ್ನು ಗುಣಪಡಿಸಲು ಇವುಗಳ ಸಹಾಯವು ಅನಿವಾರ್ಯ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಪ್ರಪಂಚದ ಯಾವ ವೈದ್ಯ ಶಾಲೆಯೂ, X-ಕಿರಣ ಯಂತ್ರ ವನ್ನು ಹೊಂದಿರದೆ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಲಾರದು. ಮಾನವನ ಆರೋಗ್ಯಕ್ಕೂ, ಹಿತಕ್ಕೂ ಅತ್ಯುಪಕಾರವನ್ನು ಮಾಡಿರುವ ಒಂದೇ ಸಾಧನವೆಂದರೆ X-ಕಿರಣಗಳು.

4. ಕೈಗಾರಿಕಾಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, X-ಕಿರಣಗಳು ಸರ್ವವ್ಯಾಪಿಯಾದ ಉಪ ಯೋಗವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಲೋಹ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ಬೆಸಿಗೆಗಳು ಮುಂತಾದ ಕಣ್ಣಿಗೆ ಕಾಣಿಸದ ಹಲವಾರು ಆಂತರ್ಯ ದೋಷಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು X-ಕಿರಣ ಗಳ ಸಹಾಯವು ಬೇಕು. ಯಂತ್ರಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ತಯಾ ರಾಗುವ ಬಿಡಿಭಾಗಗಳೆಲ್ಲವೂ X-ಕಿರಣಗಳ ಶೋಧನೆಯನಂತರವೇ ಹೊರಬೀಳ ಬೇಕಾದುದು ಒಂದು ಮಾಮೂಲು ವಿಧಾನವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದೆ. ಮಿಶ್ರಲೋಹಗಳ ರಚನೆ, ಸೆಲ್ಲುಲೋಸ್, ರಬ್ಬರ್, ಪ್ಲಾಸ್ಟಿಕ್ಸ್ ಮುಂತಾದ ನಾರು ವಿಶೇಷಗಳ ರಚನೆ ಮುಂತಾದುವುಗಳನ್ನು X-ಕಿರಣಗಳ ಮೂಲಕವೇ ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು.

ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೂ, ಮಾನವನ ನಿತ್ಯ ಜೀವನದ ಉಪಯೋಗಗಳಿಗೂ ಇರುವ ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಇತರ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಇಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಕಾಣಲಾರೆವು.

4.7 ಉಷ್ಣವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ (thermionic effect)

1883ರಲ್ಲಿ ಥಾಮಸ್ ಎಡಿಸನ್ (Thomas Edison) ವಿದ್ಯುತ್ ದೀಪದ ನಿರ್ಮಾಣದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡುತ್ತಿರುವಾಗ, ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ಒಂದು ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿ ಪ್ರಖ್ಯಾತನಾದನು. ನಿರ್ವಾತವಾದ ಒಂದು ಗಾಜಿನ ಆವರಣದೊಳಗೆ, ಒಂದು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ತಂತುವನ್ನು (filament) ಇಟ್ಟು ಅದರ ಮೂಲಕ ಒಂದು ಬಾಹ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಹರಿಸಿದಾಗ ಆ ತಂತುವು ಕೆಂಡಗೆಂಪಾಗಿ, ನಂತರ, ಉಜ್ವಲ (incandescent) ವಾಗುತ್ತದೆ. ಆ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಬರೀ ಉಷ್ಣಾಂಶದ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿ, ಆ ತಂತುವಿನ ಹೊರ ಮೈನಿಂದ ಋಣ-ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಈ ತಂತುವಿಗೆ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಲೋಹದ ಫಲಕವನ್ನು ಇಟ್ಟು (metal plate) ಅದನ್ನು ಬಾಹ್ಯವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಧನಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದರೆ, ತಂತುವಿಗೂ ಈ ಧನಧ್ರುವ (anode) ಕ್ಕೂ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಏರ್ಪಟ್ಟು, ತಂತುವಿನಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಧನ ಧ್ರುವದ ಕಡೆಗೆ ಆಕರ್ಷಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಯಂತ್ರ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ಅಳೆಯಬಹುದು. ಇದರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ವಿಷಯವನ್ನು ಎಡಿಸನ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಅದೇನೆಂದರೆ, ತಂತುವಿನ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ ಫಲಕ (P)ವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಋಣ ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಅಳವಡಿಸಿದರೆ, ಋಣ-ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಆ ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಆಕರ್ಷಿಸಲ್ಪಡದೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ನಿಂತುಹೋಗುತ್ತದೆ. ಕಾದ ಮೇಲ್ಮೈಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ



ಚಿತ್ರ 4.5 ದ್ವಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆ

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉಷ್ಣ-ವಿಸರ್ಜನಕಾರಕಗಳೆಂದು ಎಣಿಸಬಹುದು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಎಡಿಸನ್ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲು, ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಉಪಕರಣವು ಸಹಾಯಕವಾಗುವುದು. C-ಎಂಬುದು ನಿರ್ವಾತಗೊಳಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಗಾಜಿನ ಆವರಣ. F ಎಂಬುದು ಟಂಗಸ್ಟನ್ ಅಥವಾ ಬೇರೆ ಲೋಹದ ತಂತು. ಇದರ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಕಳುಹಿಸಲು B ಎಂಬ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶವಿದೆ. ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಿ, F ತಂತುವಿನ ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಏರಿ, ಅದು ಕೆಂಪಾದಾಗ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. P ಎಂಬುದೇ ಒಂದು ಲೋಹದ ಫಲಕ. ಇದನ್ನು ಧನ ಧ್ರುವವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಲು ಅದನ್ನು B_2 ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಧನಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಅಳವಡಿಸಬೇಕು. F, Pಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (potential differences) ವನ್ನು ವಿವಿಧ ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ (40, 60, 80, 100-ವೋಲ್ಟ್) ಇಡುವುದರ ಮೂಲಕ, A ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹಮಾಪಕ (milli-ammeter) ದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಅಳೆಯಬಹುದು. F ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ P ಕಡೆಗೆ ಆಕರ್ಷಿತವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಅದು ಧನಧ್ರುವವಾಗಿರಬೇಕು.

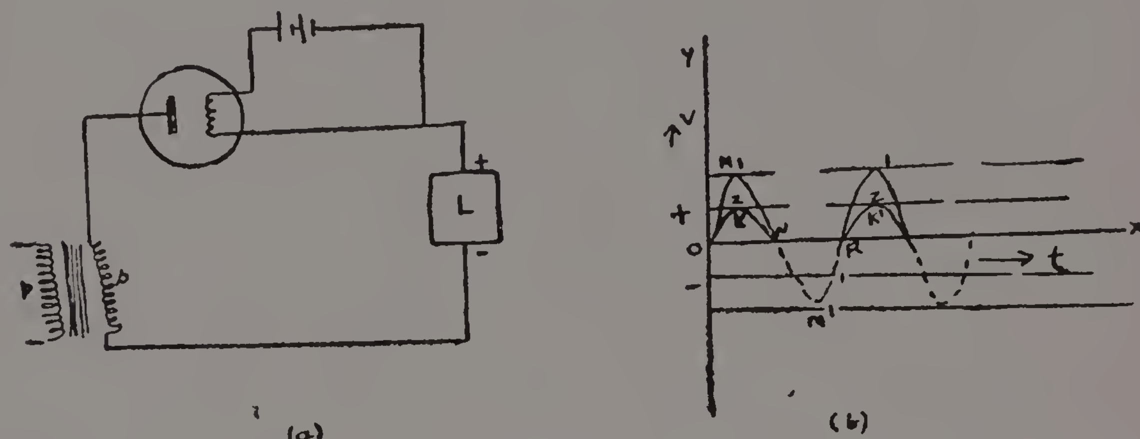
F ತಂತುವಿನ ಉಷ್ಣಾಂಶ (Absolute temperature) ನಿರಪೇಕ್ಷಮಾನದಲ್ಲಿ T ಆಗಿದ್ದು ಅದು ಏರಿದಂತೆಲ್ಲ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳ ವಿಸರ್ಜನೆಯ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಪ್ರಮಾಣವು ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ತಂತುವಿನ ಮೇಲ್ಮೈಯಿನ ಕ್ಷೇತ್ರಫಲವು 1 ಚದರ ಸೆಂ. ಮೀ. ಆಗಿದ್ದು, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹ (current density) ವು I ಆದರೆ,

$$I = aT^{\gamma}\epsilon^{-\frac{b}{T}} \qquad \ldots \quad 4.23$$

ಇದು ರಿಚರ್ಡ್‌ಸನ್ ಸೂತ್ರ. a, b ಗಳು ನಿಯತಾಂಕಗಳು.

T ನಿಯತವಾಗಿದ್ದು, F, P ಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವವನ್ನು V ಎಂದು ಕರೆದರೆ, I-V ಗಳ ನಡುವಣ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಚಿತ್ರ (b) ರೇಖೆಗಳು ತೋರಿಸುತ್ತವೆ. ಒಂದೊಂದು ಉಷ್ಣಾಂಶ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿಯೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಮೌಲ್ಯವು ಒಂದು ಸಂತುಷ್ಟ (saturation) ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂತುಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯವು T ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ($T_3 > T_2 > T_1$) ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದನ್ನೂ ಕಾಣುತ್ತೇವೆ. ಈ ಸರಳ ಉಪಕರಣವನ್ನು ದ್ವಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆ (Deode) ಎಂದು ಕರೆದರೆ, ಇದರ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗವು ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು (A.C)

ಏಕಮುಖ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನಾಗಿ (D.C) ಮಾರ್ಪಡಿಸುವುದೇ ಆಗಿದೆ. ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ, P ಧನವಾಗಿರುವಾಗ ಮಾತ್ರ F,P ಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಹರಿಯುತ್ತದೆ. P ಋಣ ಧ್ರುವವಾದಾಗ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ತಡೆಯಲ್ಪಡುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 4.6 ವಿದ್ಯುತ್ ಏಕಮುಖೀಕರಣ

ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ [4.6 (a)] ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ P ಧ್ರುವಕ್ಕೆ T ಎಂಬ ಪರಿವರ್ತಕ (transformer)ಮೂಲಕ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದೆ.ಇದರಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ 1 ರೇಖೆಯು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಪೂರ್ತ ಆವರ್ತದಲ್ಲಿ (cycle) ಇದು +ನಿಂದ –ಗೆ ಬದಲಾವಣೆಯಾಗುತ್ತದೆ. OMN ಭಾಗದಲ್ಲಿ +ಆಗಿಯೂ, NM'R ಭಾಗದಲ್ಲಿ –ಆಗಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಮೊದಲಿನ ಅರ್ಧ ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ (half-cycle) ಮಾತ್ರ P ಧನವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ F, P ಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವಿದ್ದು ಇದರ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು 2 ಚಿತ್ರವು ರೂಪಿಸುತ್ತದೆ. NM^1R ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ P ಋಣವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಆಗ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವಿರುವಂತಿಲ್ಲ. ಮತ್ತೆ ಎರಡನೆಯ ಆವೃತ್ತಿಯ ಮೊದಲ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು RK^1S ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಹೊರಗಿನ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಹರಿಯುವ (L) ವಿದ್ಯುಚ್ಛಕ್ತಿಯು ಏಕಮುಖವಾಗಿ ಇರುತ್ತದೆ. ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶಗಳನ್ನು ತುಂಬಿಸಲು (charge) ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಈ ಏಕಮುಖೀಕರಣ (rectification) ವು ಈ ಉಪಕರಣದ ಮುಖ್ಯಉಪಯೋಗ.

F ತಂತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೇ ಆಗಿವೆಯೆಂಬುದು ಅವುಗಳ $\frac{e}{m}$ ಮೌಲ್ಯದಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿದೆ. ಲೋಹಗಳೆಲ್ಲವೂ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕಗಳಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ಧಾತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ

ರಚನೆಯಲ್ಲಿರುವ ಬಿಡಿ (free) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೇ ಹೆಚ್ಚು ಉಷ್ಣಾಂಶದ ಪ್ರಭಾವ ದಿಂದ ಸುಲಭವಾಗಿ ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತವೆ ಎಂಬುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆ (Triode)

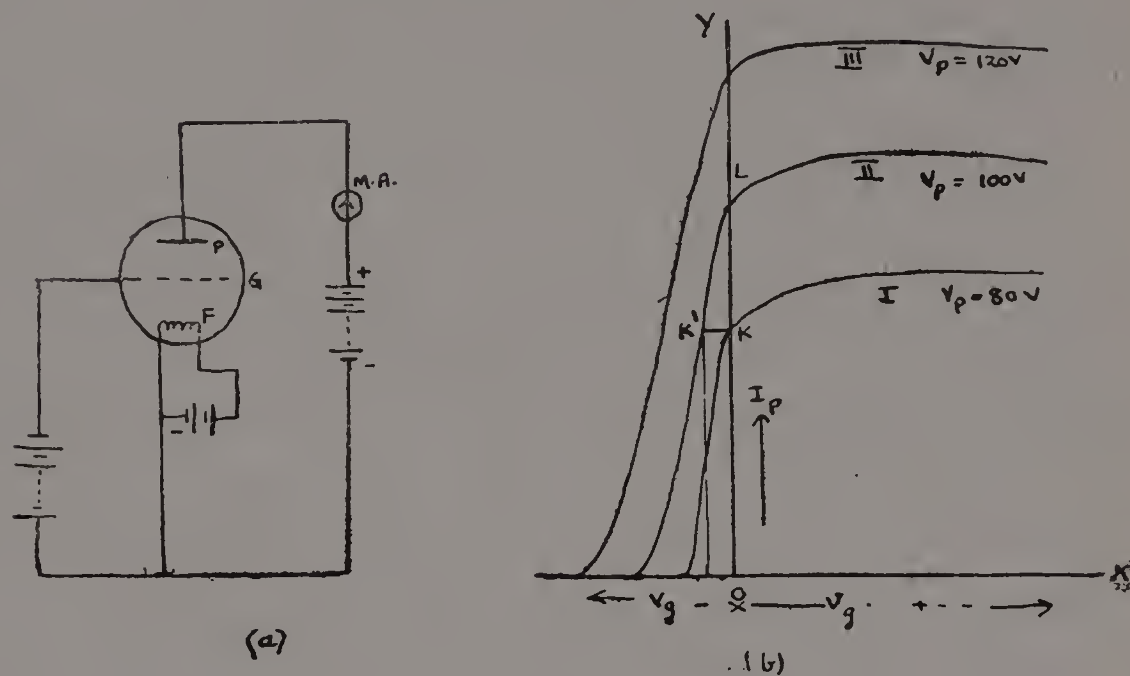
1907 ರಲ್ಲಿ ಡಿ ಫಾರೆಸ್ಟ್ ಎಂಬಾತನು (De Forest) ದ್ವಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡಿ, F ತಂತುವಿಗೂ, P ಫಲಕಕ್ಕೂ ನಡುವೆ ಒಂದು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ತಂತಿಗಳ ಬಲೆ (ಅಥವಾ ಜಾಲ)ಯನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿ ಅದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಯ ನಿರ್ಮಾಣಕ್ಕೆ ಕಾರಣನಾದನು. ಈ ನಿರ್ವಾತ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ (ಚಿತ್ರ 4.7) ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳಿವೆ. F-ತಂತು. ಇದನ್ನು B_1 ಎಂಬ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿ, ಅದರಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದಿಂದ ತಂತುವಿನ ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಏರಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೋರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ತಂತು ವಿನ ಮೇಲ್ಮೈಯಿನಲ್ಲಿ ಬೇರಿಯಂ ಅಥವಾ ಸೀಸಿಯಂ ಆಕ್ಸೈಡ್‌ಗಳ ಲೇಪಗೊಳಿ ಸಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೇರಳವಾಗಿ ವಿಸರ್ಜಿಸುತ್ತವೆ. ಕೆಲವು ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಈ ತಂತುವಿನ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ K ಎಂಬ ಒಂದು ಫಲಕವನ್ನಿಟ್ಟು ಅದರಮೇಲೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಸಂಗ್ರಹವಾಗುವುದರಿಂದ ಅದು ಕ್ಯಾಥೋಡ್ (ಋಣ ಧ್ರುವ) ನಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ.

G - ಇದೇ F ತಂತುವನ್ನು ಆವರಿಸಿರುವ ತಂತಿಗಳ ಬಲೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಬೇರೆ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶ (B_2) ವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ ಅದರ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ – ನಿಂದ + ಗೆ ಬದಲಾಯಿಸಬಹುದು. ಇದು ಒಂದು ನಿಯಂತ್ರಣ ಧ್ರುವದಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರ ವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು (V_g) ಬದಲಾಯಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, F ನಿಂದ ಹೊರಡುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ತಡೆದು ಹಿಡಿಯಲು ಅಥವಾ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಹೋಗಿ P ಫಲಕವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು.

P. ಇದು ಧನಧ್ರುವ-ಇದನ್ನು B_3 ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಧನಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕ ಗೊಳಿಸಿ, ಅದರ ವೋಲ್ಟೇ (V_p) ಜನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಬಹುದು. ಈ ಫಲಕದ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಹರಿಯುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು (I_p). MA ಎಂಬ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹ ಮಾಪಕ (milli-ammeter) ದಿಂದ ಅಳೆಯಬಹುದು.

ಇಂಥ ಒಂದು ತ್ರಿಧ್ರುವದ ವರ್ತನೆಯ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು (characteristics) ವಿವಿಧ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ರೇಖೆಗಳ ಮೂಲಕ ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಂಡಲದ ರಚನೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 4.7 ರಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು.

F ತಂತುವನ್ನು ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅದಕ್ಕೂ G ಗೂ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಅಂತರ V_g—ಇದನ್ನು −10V ನಿಂದ +10V ವರೆಗೆ ಬದ



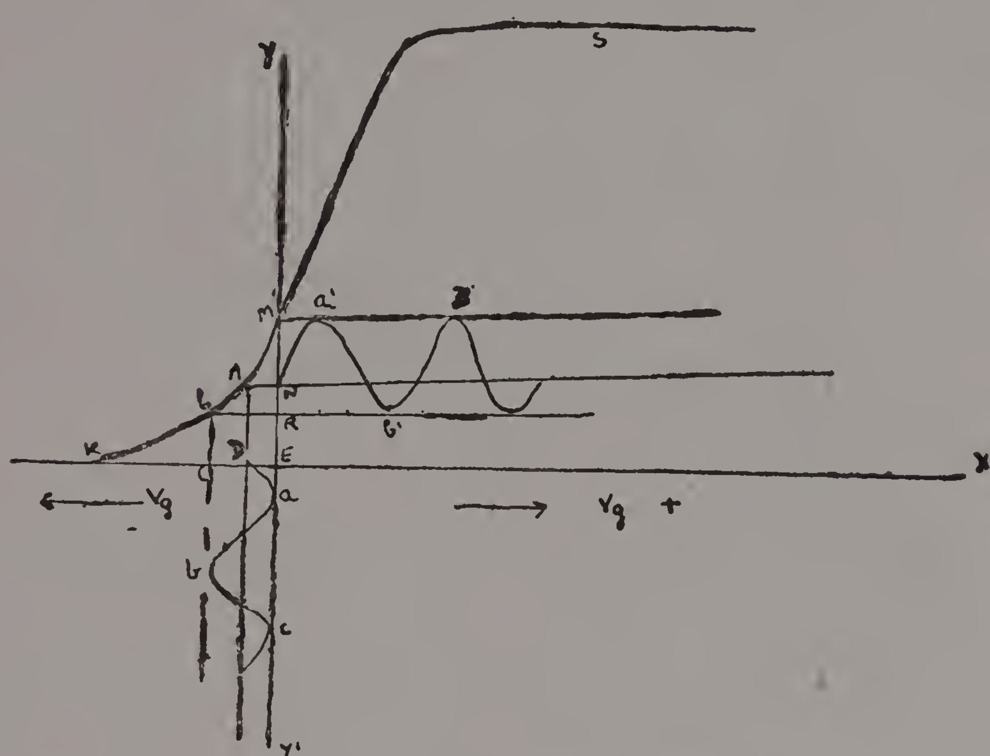
ಚಿತ್ರ 4.7 ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆ

ಲಾಯಿಸುತ್ತೇವೆಂದು ತಿಳಿಯೋಣ. F ಗೂ Pಗೂ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಅಂತರವನ್ನು V_p ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡು ಇದನ್ನು +80V, +100V, +120V ಎಂದು ಬದಲಾಯಿಸಬಹುದು. ಈಗ V_p ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಒಂದು ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ನಿಯತವಾಗಿಟ್ಟು, V_g ಯನ್ನು ಮಾತ್ರ -10^v ನಿಂದ -10^v ಗೆ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತ, I_p ಅಥವಾ P ಪ್ಲೇಟ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು M.A ಮಾಪಕದ ಮೂಲಕ ಅಳೆದರೆ, ನಮಗೆ, $I_p \rightarrow V_g$ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತೋರಿಸುವ ರೇಖೆಯ ರೂಪವು ಚಿತ್ರ (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸುವಂತೆ ಇರುವುದು. ಇದೇ ಮಾದರಿಯ ರೇಖೆಗಳನ್ನು V_p ಯ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿ, ಎಳೆಯಬಹುದು. ಇಂಥ ಮೂರು ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಇದನ್ನೇ ನಾಳಿಕೆಯ ಲಕ್ಷಣ ರೇಖೆಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇವುಗಳಿಂದ ಹಲವಾರು ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಬಹುದು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದುವು ಮೂರು. ಇವನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಈಗ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

ತ್ರಿಧ್ರುವನಾಳಿಕೆಯ ಏಕಮುಖೀಕರಣದ ವರ್ತನೆ (Rectifying action)

ತ್ರಿಧ್ರುವದಿಂದ ಪರ್ಯಾಯವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಏಕಮುಖೀ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಅದನ್ನು ಹೇಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಲು, ಚಿತ್ರ (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಲಕ್ಷಣ ರೇಖೆಯನ್ನು ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬೇಕು.

ಈ ಲಕ್ಷಣ ರೇಖೆಯು KLMS ಆಗಿದ್ದರೆ (ಚಿತ್ರ 4.8), ನಮಗೆ ಉಪಯೋಗವಾಗಲಿರುವ ಭಾಗವು ಎಡಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ ಕೆಳಗಿನ ತಿರುವು (KLM) ಮಾತ್ರ. ಈ



ಚಿತ್ರ 4.8 ತ್ರಿಧ್ರುವದ ಏಕಮುಖೀಕರಣದ ಕ್ರಿಯೆ

ತಿರುವಿನಲ್ಲಿ A ಎಂಬ ಬಿಂದುವನ್ನು ನಮ್ಮ ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕು. ಅಂದರೆ ED = V_g (—ಭಾಗ) ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್‌ನ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ಸಂಕೇತ (signal)ವನ್ನು ಜಾಲ(grid)ಕ್ಕೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಬೇಕು. Dabc...ಎಂಬುದೇ ಈ ಪರ್ಯಾಯ ರೂಪದ ಆವರ್ತರೇಖೆ. ಒಂದು ಆವರ್ತ್ಯದಲ್ಲಿ V_g ಮೌಲ್ಯವು D–E ಗೆ ಏರಿ, D–C ಕಡೆ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ. V_g ಯು D ನಿಂದ E ಗೆ ಏರುವಾಗ, I_p (ಫಲಕದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹ ಮೌಲ್ಯವು EN ಇಂದ EM ಗೆ ಏರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, I_p ಮೌಲ್ಯದ ಏರಿಕೆಯು NM ಆಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆಯೇ ಆವರ್ತದ ಮತ್ತೊಂದು ಅರ್ಧಭಾಗದಲ್ಲಿ V_gಯು D ನಿಂದ C ಗೆ ಇಳಿಯುವಾಗ, I_p ಮೌಲ್ಯವು NR ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಒಂದು ಆವರ್ತದಲ್ಲಿ I_p ಯ ಬದಲಾವಣೆಯು ಒಂದು ಕಡೆ NM ಆಗಿಯೂ, ಮತ್ತೊಂದು ಕಡೆ NR ಆಗಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ. ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವಂತೆ NM > NR. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಆವರ್ತಕಾಲದಲ್ಲಿ I_p ಯ ಬದಲಾವಣೆಯು ಮೇಲುಗಡೆ (NM—NR) ಆದ ಹಾಗಾಯಿತು. ಸರಾಸರಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಒಂದೇ ಕಡೆ ಇರುವ ಹಾಗೆ ಆಗುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಏಕಮುಖೀಕರಣವಾದಂತೆಯೇ ಭಾವಿಸಬಹುದು. V_g ಯ ಬದಲಾವಣೆಯು Dabc...ರೇಖೆಯಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ $Na^1b^1c^1$...ಆಗುತ್ತದೆ. ಫಲಕದ ಹೊರಮಂಡಲದಲ್ಲಿ (external plate circuit), ಏಕಮುಖವಾದ ಸ್ಫುರಣಗಳು (pulses) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಇವುಗಳನ್ನು

ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಒಂದು ಗ್ರಾಹಕ ಉಪಕರಣ (Telephone) ದಿಂದ ಕೇಳಬಹುದು. ಇದು ಕೆಲಸ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ಏಕಮುಖ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು (DC) ಇರಬೇಕು. ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ (AC) ಇದರ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಉಂಟುಮಾಡುವುದಿಲ್ಲ.

ತ್ರಿಧ್ರುವನಾಳಿಕೆಯಿಂದ ಶಕ್ತಿವರ್ಧನ ಕ್ರಿಯೆ (Triode as an amplifier)

ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಯ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗವೇನೆಂದರೆ, ದುರ್ಬಲ ಸಂಕೇತಗಳನ್ನು ಶಕ್ತಿವರ್ಧನಮಾಡಿ ಪ್ರಬಲ (strong) ಸಂಕೇತಗಳನ್ನಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸುವುದು. ಚಿತ್ರ 4.7 (b) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಹೇಗೆ ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

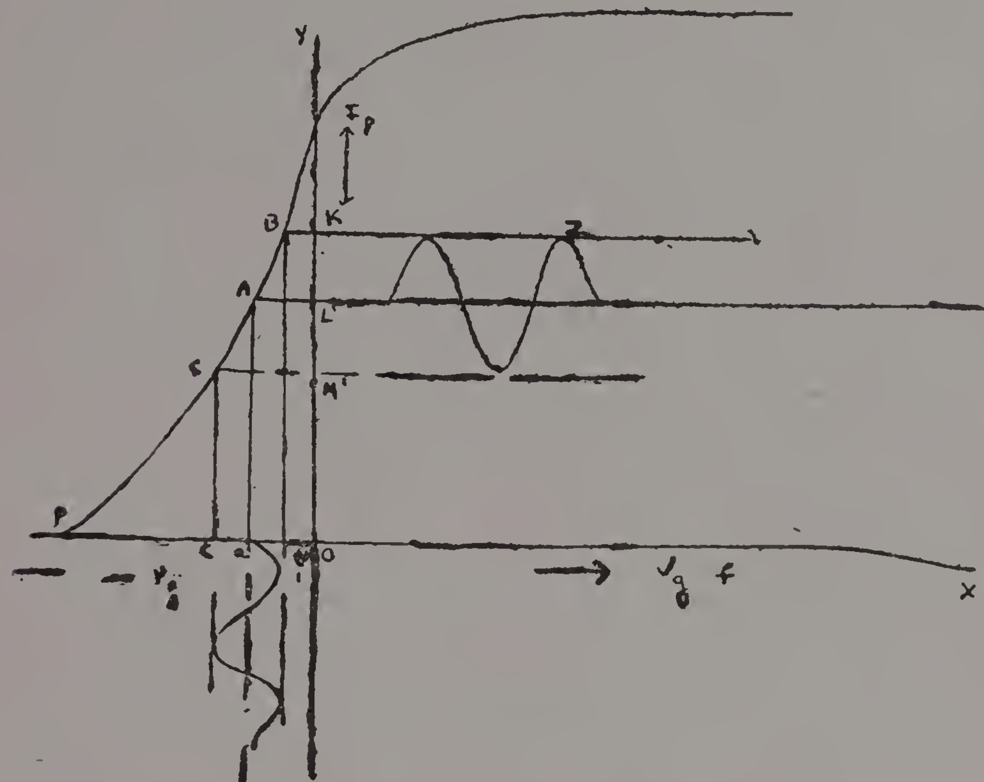
ಆ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ OX ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ V_g ಯನ್ನೂ, OY ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ I_p ಯನ್ನೂ ಗುರುತಿಸಿದೆ. ಈಗ ಮೊದಲನೆಯ ರೇಖೆಯಲ್ಲಿ (I) $V_p = 80$ ವೋಲ್ಟ್ ಆಗಿ, $V_g = O$ ಆದರೆ, $I_p = OK$. ಈ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು O L ಗೆ ಹೆಚ್ಚಿಸಬೇಕಾದರೆ, $V_g = O$ ಆಗಿಯೇ ಇರುವಾಗ $V_p = 100$ ವೋಲ್ಟ್ ಆಗಬೇಕು. ಇದು II ರೇಖೆ. ಈ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು $\Delta V_p = 20$ ವೋಲ್ಟ್ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

ಈಗ II ರೇಖೆಯಲ್ಲಿ ($V_p = 100$ V) $I_p = OK = RK'$ ಆಗಬೇಕಾದರೆ, $V_g = OR$ ಆಗಿರಬೇಕು. V_p ಯನ್ನು ನಿಯತವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, $I_p = OL$ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ($V_g = O$)V_g ಯಲ್ಲಿ ಆಗಬೇಕಾದ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು $RO = \Delta V_g = KK'$ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಈ ಎರಡನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಾಗುವುದೇನೆಂದರೆ, I_p ಯನ್ನು ಒಂದೇ ಪ್ರಮಾಣದ ಮೂಲಕ (KL) ಹೆಚ್ಚಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಎರಡು ವಿಧಾನಗಳಿವೆ. ಒಂದರಲ್ಲಿ V_g ನಿಯತದಾಗಿದ್ದು V_p ಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸುವುದು. ಇನ್ನೊಂದರಲ್ಲಿ V_p ಯನ್ನು ನಿಯತವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು V_g ಯನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೆಚ್ಚಿಸುವುದು. ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ (4.7) ತೋರಿಸುವಂತೆ, ΔV_g ಯು ΔV_p ಗಿಂತ ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಿದೆ.

$$\frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} = \mu = \text{ಶಕ್ತಿವರ್ಧನ ಸಂಖ್ಯೆ (amplification factor)} \qquad \ldots \quad 4.24$$

ಈ ಉದಾಹರಣೆಯಲ್ಲಿ $\Delta V_p = 20$ V; $\Delta V_g = 2$ V ಆದರೆ, $\mu = 10$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಈ ತತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ಬೇಕಾದ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಶಕ್ತಿವರ್ಧನವನ್ನು ಹೊಂದಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಚೆನ್ನಾಗಿ ಸ್ಪಷ್ಟಪಡಿಸಲು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರವು (4.9) ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ.

$I_p - V_g$ ಲಕ್ಷಣ ರೇಖೆಯು PAR (ಚಿತ್ರ 4.9) ಆಗಿರಲಿ. ಹಿಂದಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ನಾವು ಈ ರೇಖೆಯ ಎಡತುದಿಯ ತಿರುವು ಭಾಗವನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟಿದ್ದೆವು. ಈಗ



ಚಿತ್ರ 4.9 ತ್ರಿಧ್ರುವದ ಶಕ್ತಿವರ್ಧನ ಕ್ರಿಯೆ

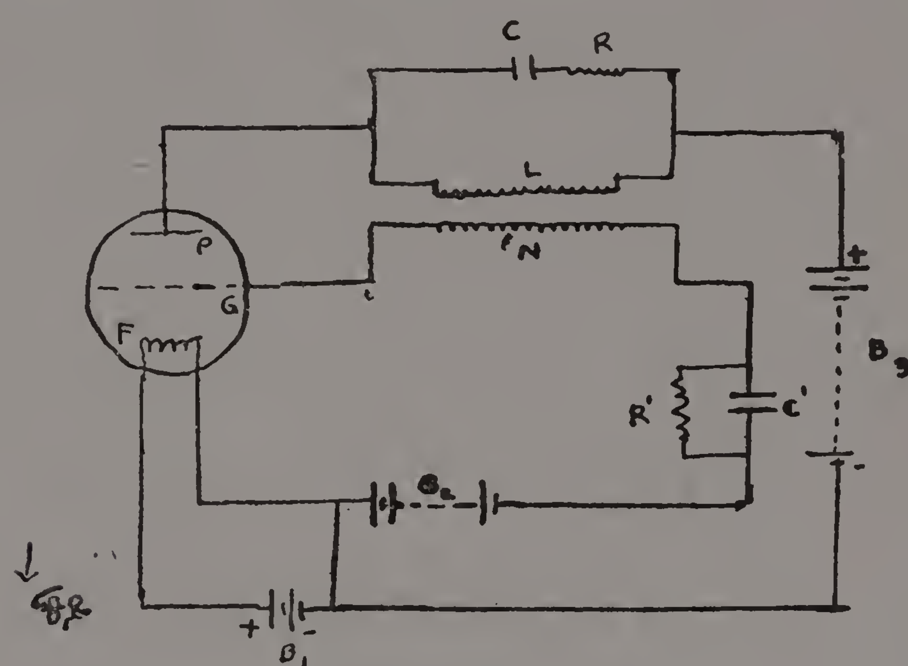
ನಮಗೆ ಬೇಕಾದುದು ರೇಖೆಯ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ ಕಡಿದಾಗಿರುವ ಭಾಗ (steep). ಇದರಲ್ಲಿ CAB ಭಾಗವನ್ನು ನೇರವಾಗಿರುವುದರಿಂದ (straight) ಚುನಾಯಿಸಬೇಕು. A ಎಂಬುದು ಸಮ್ಮ ಕ್ರಿಯೆಯ ಬಿಂದುವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ಎರಡು ಪಾರ್ಶ್ವಗಳು AB, AC ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, Oa ಎಂಬುದು V_g ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರಥಮ ಮೌಲ್ಯವಾದರೆ, ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸುವ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಬದಲಾವಣೆಗಳು ಕೆಳಗೆ ಚಿತ್ರಿಸಿರುವ 1 ಆವರ್ತ ರೇಖೆ. ಇದರ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ V_g ಯು ಮೌಲ್ಯವು Ob, Oc ಗಳ ನಡುವೆ ವ್ಯತ್ಯಾಸ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. $V_g = Ob$ ಆದಾಗ $I_p = OK V_g = OC$ ಆದಾಗ $I_p = OM'$, ಆದ್ದರಿಂದ, I_p ಮೌಲ್ಯವು OM′ OK ಗಳ ನಡುವೆ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತ ಈ ಆವರ್ತ ರೇಖೆಯು 2 ನಲ್ಲಿ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. 1, 2 ಆವರ್ತರೇಖೆಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, 2 ರೇಖೆಯ ಕಂಪನ ವೈಶಾಲ್ಯಗಳ (amplitudes) ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು, 1 ರೇಖೆಯಲ್ಲಿರುವುದಕ್ಕಿಂತ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಿನ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿರುವುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಕಾಣುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಶಕ್ತಿವರ್ಧನವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿ ಇದನ್ನು ಹಲವಾರು ವಿಧಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

ತ್ರಿಧ್ರುವನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ಆಂದೋಳಕದಂತೆ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದು

(Triode as an oscillator)

ಬಾನುಲಿ ಪ್ರಸಾರ (radio) ದಲ್ಲಿ ತ್ರಿಧ್ರುವನಾಳಿಕೆಗಳನ್ನು ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಜನಗಳಿಗಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ರೇಷಕ ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿ

(Transmitters), ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಮತ್ತು ಮುಂದಗೊಳಿಸದ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡುವುದು (Production of continuous, undamped, high frequency electro-magnetic waves) ಬಹಳ ಅವಶ್ಯಕ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ, ನಾವು ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಅಳವಡಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರ 4.10 ರಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 4.10 ತ್ರಿಧ್ರುವದ ಆಂದೋಳಕ ಕ್ರಿಯೆ

ಈ ಚಿತ್ರದ ವಿವರಣೆಯು ಹೀಗಿದೆ. ನಾಳಿಕೆಯ ತಂತು (F) ವಿಗೆ ಶಾಖ ಉತ್ಪಾದಕವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು B_1 ಕೋಶವು ಒದಗಿಸುತ್ತದೆ. (G) ಜಾಲದ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಬೇಕಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ವೋಲ್ಟೇಜ್ B_2 ಕೋಶದಿಂದ ಬರುತ್ತದೆ. (P) ಫಲಕದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾದ ಬೃಹತ್ (HT) ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶವು B_3 ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

(P) ಫಲಕದ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಒಂದು LCR [L= ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಕ ತಂತಿಯ ಸುರಳಿ (inductance) ; C= ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಚಯ (condenser); R= ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕ ರೋಧ (resistance)] ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆಯೇ, G ಮಂಡಲ ದಲ್ಲಿ N, C^1, R_1 ಗಳಿರುತ್ತವೆ. L, N ಸುರಳಿಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪ್ರೇರಕ ಕ್ರಿಯೆ (mutual inductance) ಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಬಹುದು.

ಈಗ LCR ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಆಂದೋಳನಗಳು (oscillations) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತ ವೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. ಇವುಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು n ಆಗಿದ್ದರೆ, LN ಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರ ಪ್ರೇರಕ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ, ಜಾಲ (G) ದ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿಯೂ, ಅದೇ (n) ಕಂಪನಸಂಖ್ಯೆಯ ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗಳು G ನಲ್ಲಿ ಪ್ರೇರೇಪಿತವಾಗುತ್ತವೆ.

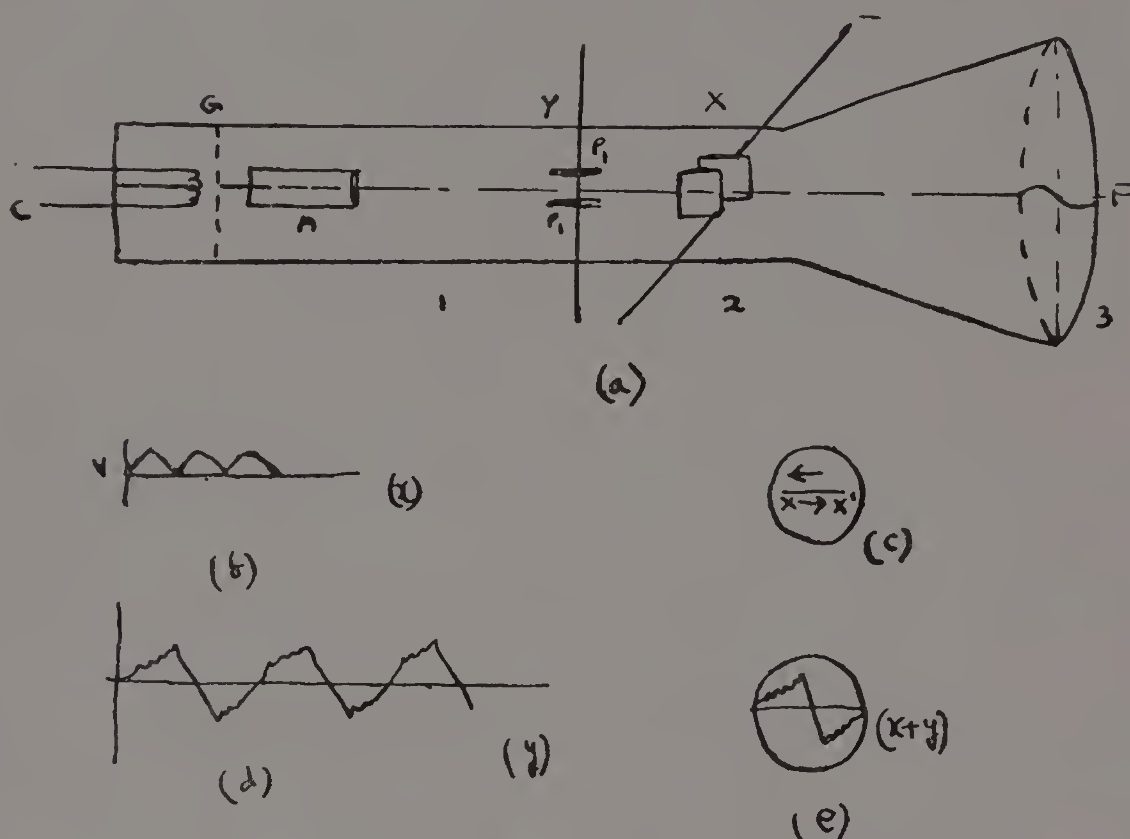
ಈ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು (P) ಫಲಕದ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿಯೂ ಕಾಣಬಹುದು. G ನಲ್ಲಿನ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗಳ ಬದಲಾವಣೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಫಲಕದ ಮಂಡಲದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹಗಳೂ, ಅದರಲ್ಲಿಯೇ ಸಹಜವಾಗಿರುವ (LCR) ಆಂದೋಳನಗಳೂ, ಒಂದೇ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ, ಆಂದೋಳನಗಳು ಉತ್ತೇಜನಗೊಂಡು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಕಂಪನ ವೈಶಾಲ್ಯ (amplitudes) ಗಳನ್ನು ಹೊಂದುವಂತಾಗುತ್ತದೆ, ಹೀಗಾಗಿ ಒಂದು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಮತ್ತು ಮಂದಗೊಳಿಸದ ಆಂದೋಲನಗಳನ್ನು ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲು (maintained) ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. C^1R^1 ಗಳ ಮುಖ್ಯ ಕರ್ತವ್ಯವೇನೆಂದರೆ, ಜಾಲದ ವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಿಕೊಂಡು, ಆಂದೋಲನಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿಯು ದಕ್ಷತೆ (efficiency) ಯಿಂದ ಸಾಗಲು ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಪ್ರಕೃತದಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಮುಖ್ಯ ಉದ್ದೇಶವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸರ್ವತೋಮುಖವಾದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ತೋರಿಸುವುದೇ ಆಗಿದ್ದರಿಂದ, ನಿರ್ವಾತ ನಾಳಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಅವುಗಳು ಎಷ್ಟು ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆಯೆಂಬುದು ಮೇಲಿನ ಮುಖ್ಯ ಉದಾಹರಣೆಗಳಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಬಾನುಲಿ ಪ್ರಸಾರದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಪ್ರೇಷಕ ಮತ್ತು ಗ್ರಾಹಕ ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಗಳ ಪಾತ್ರವು ಪ್ರಧಾನವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಮಾತ್ರ ಸ್ವಲ್ಪವಿಶದಪಡಿಸಿದೆ. ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಬಾನುಲಿ ಪ್ರಸಾರದ ವಿಷಯವನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ಸ್ ಎಂಬ ವಿಭಾಗದಲ್ಲಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಲು ಹಲವಾರು ಗ್ರಂಥಗಳು ಬೇಕಾಗುತ್ತವೆ. ತ್ರಿಧ್ರುವಗಳೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಚತುರ್ಧ್ರುವ, ಪಂಚಧ್ರುವ, ಷಟ್‌ಧ್ರುವ ಎಂಬ (Tetrode, Pentode, Hexode) ಹಲವು ಕ್ಲಿಷ್ಟಮಾದರಿಗಳನ್ನು ಬಳಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣ ಆಂದೋಲನ ಲೇಖಕ ಉಪಕರಣ (Cathode Ray Oscillograph)

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಮಾರ್ಗಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ಸ್ಫುರಣ ವಸ್ತುವಿನ ಲೇಪವಿರುವ ಒಂದು ಪ್ರದೀಪ್ತಿ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ (fluorescent screen) ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು (scintillation) ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಬಲ್ಲುವು. ಈ ಎರಡು ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಒಂದು ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ. ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಆಂದೋಳನಗಳ ಸ್ವರೂಪಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸುವುದೇ ಈ ಉಪಕರಣದ ಪ್ರಮುಖ ಕರ್ತವ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಇದಕ್ಕೆ 'ಆಂದೋಲನ ಲೇಖಕ ಉಪಕರಣ' ಎಂದು ಹೆಸರಿಡಬಹುದು. ಇಂಥ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಮೊದಲು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಅದರ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನೂ ತೋರಿ

ಸಿದವನು ಸಿ. ಎಫ್. ಬ್ರಾನ್ (Braun). ಈ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಆತನು ಮೊದಲು ಸರಳ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ 1897 ರಲ್ಲಿಯೇ ಮಾಡಿದನು. ಅದರಿಂದೀಚೆಗೆ ವಿಶೇಷ ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳಾಗಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ನವೀನ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 4.11 ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 4.11 ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ರೇ ಆಸಿಲೋಗ್ರಾಫ್

ಉಪಕರಣದ ರಚನೆಯು ಹೀಗಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ಭಾಗಗಳಿವೆ.

1. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತುಪಾಕಿ (Electron Gun)

ಇದರಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ, ಅದನ್ನು ಒಂದು ಸಂಕುಚಿತ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಎಳೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹಾಯಿಸಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗವನ್ನು ಕೊಡಲಾಗುತ್ತದೆ. C ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವುದೇ ಕ್ಯಾಥೋಡ್. ಇದರಲ್ಲಿ F ಲೋಹದ ತಂತು. ಇದರ ಮೂಲಕ ಹೊರಗಿನ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹರಿಸಿ, ತಂತುವು ಕೆಂಪಗೆ ಕಾದಾಗ ಅದರಿಂದ ವಿಪುಲವಾಗಿ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. G ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ರಂಧ್ರದ ಮೂಲಕ ಕಿರಣಗಳು ಹಾಯ್ದು ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ಲೋಹದ ಆನೋಡ್ (ಧನಧ್ರುವ) ಮೂಲಕ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ರಂಧ್ರದ ಮೂಲಕ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. C, A ಗಳ ನಡುವೆ 500–2000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (P. D.) ವಿರುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಕಿರಣಗಳು ನೇರಾಗಿ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷ ಹೊಂದಿ ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ವೇಗದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇದೇ ತುಪಾಕಿಯು ಕರ್ತವ್ಯ.

2. ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆ

A ನಿಂದ ಅವರ ಅಕ್ಷದ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು ಮೊದಲು ಸಮಕ್ಷಿತಿತಲ (horizontal) ದಲ್ಲಿರುವ $P_1 - P_1$ ಫಲಕದ್ವಯದ ನಡುವೆ ಹಾಯುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು Y ಪ್ಲೇಟ್‌ಗಳೆಂದು ಕರೆಯೋಣ. ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಏರ್ಪಡಿಸಿದರೆ, ಕಿರಣಗಳು ಮೇಲಕ್ಕೂ ಕೆಳಕ್ಕೂ (Y ನೇರದಲ್ಲಿ) ಪಲ್ಲಟ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಇದಾದನಂತರ, $P_2 - P_2$ ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಫಲಕದ್ವಯದ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯು ಏರ್ಪಟ್ಟಿದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು X ಪ್ಲೇಟ್‌ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇವುಗಳ ತಲವು ಲಂಬ (vertical) ವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಇವುಗಳ ಮೂಲಕ ಮತ್ತೊಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು (ಗೊತ್ತಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ) ಏರ್ಪಡಿಸಿದರೆ, ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗಪಲ್ಲಟವು ಇದಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿ ಅಂದರೆ ಸಮಕ್ಷಿತಿಜತಲ (horizontal) (X) ದ ನೇರದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, P_1, P_2 ಫಲಕಗಳ ದ್ವಯಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವ ಕಿರಣಗಳ ದಿಕ್‌ಪಲ್ಲಟವು Y – X ಎಂಬ ಪರಸ್ಪರ ಲಂಬನೇರಗಳಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ನಾಳಿಕೆಯ ಅಕ್ಷದ ನೇರದಲ್ಲಿ ಕಿರಣಗಳು ನೇರಾಗಿ ಹಾಯ್ದು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಲ್ಲದಿದ್ದರೆ, ನಾಳಿಕೆಯ ಹಿಂಭಾಗದ ಪ್ರದೀಪ್ತ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ (F) ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶ ಚುಕ್ಕೆ (O) ಯಂತೆ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

3. ಪ್ರದೀಪ್ತಿ ತೆರೆ (F)

ಈ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆಯೇ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ಚಲನವಲನಗಳನ್ನು ಗುರ್ತಿಸತಕ್ಕ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು. ಈ ಚಿತ್ರಗಳ ರೂಪಗಳಿಂದಲೇ ನಮಗೆ, P_1, P_2 ಫಲಕಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗಳಲ್ಲಿ ಏರ್ಪಡಿಸಬಹುದಾದ ಹಲವಾರು ಆಂದೋಲನಗಳ ಸ್ವರೂಪವು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ.

ಇದರ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉದಹರಿಸಲು ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮಾಡುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಸೂಚಿಸಬಹುದು. $P_2 - P_2$ ಅಥವಾ X ಫಲಕಗಳ ನಡುವೆ (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (P.D.)ಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಕ್ರಕಚದಂತ ವಿಭವ (saw-tooth potential difference) ವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದರ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಕಿರಣಗಳ ಪಲ್ಲಟ ಚಿತ್ರವು F ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಕಾಣುವ ರೂಪವು (c) ನಲ್ಲಿರುವಂತಿದೆ. ಇದು ತೆರೆಯ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ ಅಡ್ಡನೇರದಲ್ಲಿ (X) X ನಿಂದ X′ ಗೆ ಹೋಗಿ, ಮತ್ತೆ X ಗೆ ವಾಪಸ್ ಬಂದು, X′ ಗೆ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಯು ಎಡಕ್ಕೂ ಬಲಕ್ಕೂ ಹಾಯುತ್ತ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ $P_1 - P_1$ ಅಂದರೆ

Y ಫಲಕಗಳ ನಡುವೆ (d) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸುವ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ನಿಯತ ಕಾಲಿಕ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (periodic P.D.) ವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದರೆ, ಇದರ ಫಲವಾಗಿ, ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು Y ನೇರದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ ಮೇಲಕ್ಕೂ ಕೆಳಕ್ಕೂ ಸೂಕ್ತ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಪಲ್ಲಟ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, X–Y ಲಂಬನೇರ ಗಳಲ್ಲಿ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಪಲ್ಲಟಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ನಮಗೆ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಉಲ್ಲೇಖ (record) ವಾಗುವ ದೃಶ್ಯವು (e) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಕಾಣ ಬಹುದು. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ Y-ಫಲಕಗಳಿಗೆ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಆಂದೋಲನ ರೂಪಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದರೆ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಚಿತ್ರ ರೇಖೆಗಳು ನಮಗೆ ತೆರೆ (F) ಯ ಮೇಲೆ ಕಾಣುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ರೂಪಗಳಿಂದ Y ಫಲಕಗಳ ನಡುವೆ ಪ್ರಯೋಗವಾಗಿರುವ ಆಂದೋಲನಗಳ ವಿವರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸ ಬಹುದು.

ಕಣ್ಣಿಗೆ ಕಾಣುವ ದೃಶ್ಯಗಳಿಗೆ ಚಿತ್ರಗಳ ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಗಳು ಹಸುರಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಕ್ಯಾಮರ (ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಉಪಕರಣ) ವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸು ವಾಗ ನೀಲಿ ತೆರೆಗಳನ್ನು ಬಳಸುತ್ತಾರೆ. ಆ ಬಣ್ಣಕ್ಕೆ ಛಾಯಾ ಫಲಕಗಳೂ ಫಿಲ್ಮಗಳೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತವೆ.

ಸಂಶೋಧನೆಯ ಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ತಾಂತ್ರಿಕ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಈ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಮಾಮೂಲಾಗಿ ಉಪಯೋಗವಾಗುವ ಯಂತ್ರವನ್ನಾಗಿ ಭಾವಿಸ ಲಾಗಿದೆ.

ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗವು ರೇಡಿಯೋ, ಟೆಲಿವಿಷ್ರ, ರಾಡಾರ್ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದುದು. ಅತಿವೇಗವಾಗಿ ಕಂಪನ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸುವುದೇ ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಕರ್ತವ್ಯ. ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಅಪಾರವಾದುದು. ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡ್‌ಗೆ ಒಂದರಿಂದ ಹಿಡಿದು ಹಲವಾರು ಮೆಗಾಸೈಕಲ್ಸ್ (1 ಮೆಗಾಸೈಕಲ್ = ಹತ್ತು ಲಕ್ಷ ಆವರ್ತಗಳು) ವರೆಗೆ ಇರಬಹುದು. ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಸುಮಾರು $\frac{1}{1000}$ ವೋಲ್ಟ್ ಆಗಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ವರ್ಧನಗೊಳಿಸಿ, ಈ ಉಪಕರಣವನ್ನು ನಂತರ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಟೆಲಿವಿಷನ್ ವಿಧಾನದಲ್ಲಂತೂ ಇದು ಒಂದು ಪ್ರಧಾನ ಅಂಗ. ನಮಗೆ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಕಾಣುವ ದೃಶ್ಯಗಳೆಲ್ಲವೂ ಈ ನಾಳಿಕೆಯ ಮಾದರಿಯ ಹಿಂಭಾಗದ ಪ್ರದೀಪ್ತಿತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ರಚಿತವಾಗುತ್ತವೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗವೆಂದರೆ, ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಕಾಲ ಅಂದರೆ, ಸುಮಾರು 10^{-6} ಸೆಕೆಂಡ್ ಅಷ್ಟು ಸಣ್ಣ ಅವಧಿಯನ್ನೂ ಅಳೆಯಬಹುದು.

ರಾಡಾರ್ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಿಂದ ದೂರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ವಿಮಾನಗಳ ಮಾರ್ಗ ಮತ್ತು ವೇಗಗಳನ್ನೂ ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಬಹುದಾಗಿದೆ.

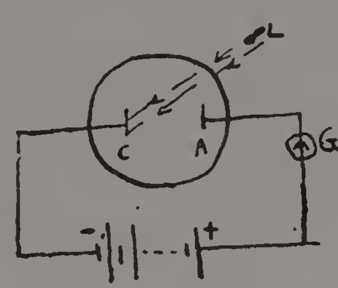
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮೈಕ್ರೊಸ್ಕೋಪ್ (electron - microscope)

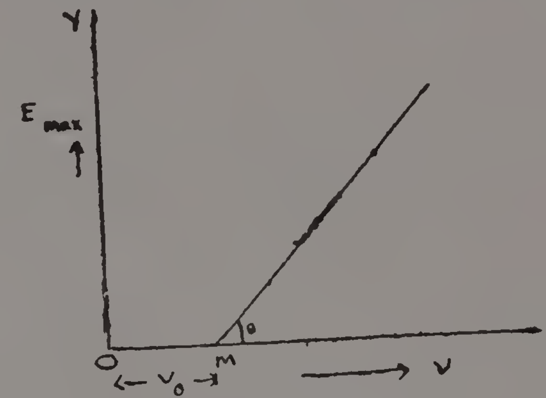
ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ನಾವು ಅತಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ ಅತಿಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪದಾರ್ಥವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಬೇಕಾದರೆ ಅದರ ಗಾತ್ರ ವರ್ಧನವನ್ನು (magnification) ಮಾಡಲು, ಯವಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತೇವೆ. ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು ಇವುಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ ವಕ್ರವಿಯೋಜನೆಯಾಗಿ, ದೊಡ್ಡ ಗಾತ್ರದ ಪ್ರತಿಬಿಂಬಗಳು ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಮೂಲಕ ಹೊಂದಬಹುದಾದ ಅತ್ಯಧಿಕ ಗಾತ್ರ ವರ್ಧನವು 2000 × ಆಗಿರಬಹುದು. ಆದರೆ, ವೈದ್ಯ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸುವಾಗ, ಕೆಲವು ರೋಗಗಳಿಗೆ ಕಾರಣಭೂತವಾಗಿರುವ ವೃಣಾಣುಗಳು (viruses) ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಬೆಳಕಿನ ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕಗಳ ಮೂಲಕ ವೀಕ್ಷಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಇಂಥ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ನಾವು ಈಗ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತೇವೆ. ಇವುಗಳಿಗೂ. ಸಾಮಾನ್ಯ ಬೆಳಕಿನ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ದರ್ಶಕಗಳಿಗೂ ಸಾಮ್ಯವನ್ನು ಈ ರೀತಿ ತಿಳಿಸಬಹುದು, ಸಾಮಾನ್ಯ ಬೆಳಕಿನ ಯಂತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತೇವೆ. ಆದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ, ಹೆಸರೇ ಸೂಚಿಸುವಂತೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಿ ಅವುಗಳ ಪ್ರಸಾರ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಗಮನಿಸುತ್ತೇವೆ. ಬೆಳಕಿನ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗ ಪಲ್ಲಟವು ಗಾಜಿನ ಯವ (lens) ಗಳ ಮೂಲಕ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಯವ (electron lens) ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತೇವೆ. ಹೆಸರಿನಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಯವಗಳಾಗಿದ್ದರೂ, ಇವುಗಳು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಥವಾ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರಗಳು ; ಅಂದರೆ, ಲೋಹದ ತಂತಿಯ ಸುರುಳಿಗಳ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಹರಿಸಿ, ಅದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳಿಂದಲೇ ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗಪಲ್ಲಟವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂತಿಮವಾಗಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಗಾತ್ರ ವರ್ಧನದ ಚಿತ್ರವು ಪ್ರದೀಪ್ತಿಯ ತೆರೆಯಮೇಲೆಯಾಗಲಿ ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಲಕಗಳ ಮೇಲೆಯಾಗಲಿ ಮುದ್ರಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಗಾತ್ರ ವರ್ಧನದ ಸಂಖ್ಯೆಯು 1,00,000 ದ ವರೆಗೆ ಇರುತ್ತದೆ.

ಇದರಿಂದ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ಬಳಕೆಯಿಂದ ವೈದ್ಯ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಮಹದುಪಕಾರವಾಗಿದೆ.

4.8 ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ (photo-electric effect)

1887 ರಲ್ಲಿ ಹರ್ಟ್ಜ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ವಿಷಯವಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡುತ್ತಿರುವಾಗ, ಒಂದು ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸಂಭವವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಎರಡು ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಕಿಡಿಗಳು ಹಾರುತ್ತಿದ್ದಾಗ, ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ನೀಲಾತೀತ ಬೆಳಕನ್ನು (ultra-violet light) ಬೆಳಗಿಸಿದರೆ, ಕಿಡಿಗಳ ಹಾರುವಿಕೆಯು ತ್ವರಿತಗೊಂಡಿತು. ಅಂದರೆ, ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕತತ್ತ್ವವು ಹೆಚ್ಚಾಯಿತೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಇದರ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅರಿಯಲು, ನಂತರ, ಹಾಲ್‌ವಾಕ್ಸ್, ಎಲ್‌ಸ್ಟರ್, ಗೈಟಲ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದರು. ಸತು (zinc) ವಿನ ಒಂದು ಫಲಕವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಭರಿತವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಿ (electrically charged) ಅದರ ಮೇಲೆ ನೀಲಾತೀತ ಬೆಳಕನ್ನು ಆಪಾತ ಮಾಡಿದರೆ, ಅದರ ಮೇಲ್ಮೈಯು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ, ಅದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರ ಬೀಳುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟಪಡಿಸಲು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಸರಳ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.





ಚಿತ್ರ 4.12 ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ

Q ಎಂಬುದು ಒಂದು ಬೆಣಚಿನ ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ಬಲ್ಬ್. ಇದರೊಳಗೆ ನಿರ್ವಾತವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಿದೆ. C, A ಗಳು ಎರಡು ಸತುವಿನ ಫಲಕಗಳು. C ಯನ್ನು B ಎಂಬ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಋಣ ಧ್ರುವಕ್ಕೂ A ಫಲಕವನ್ನು ಧನ ಧ್ರುವಕ್ಕೂ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದೆ. ಈ ಹೊರಗಿನ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ G ಎಂಬ ಒಂದು ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕ (galvanometer) ವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಬಹುದು.

ಈಗ, ಹೊರಗಿನ ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶ ದೀಪದಿಂದ (L) ಬಲ್ಬ್‌ನ ಒಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದ ಮೂಲಕ ನೀಲಾತೀತ ಬೆಳಕನ್ನು (ಪಾದರಸ ಹಬೆಯ ದೀಪದಿಂದ) C ಫಲಕದ ಮೇಲೆ ಬೀಳುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕವು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಉತ್ಪನ್ನತೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, C ಮೇಲೆ ಬೆಳಕಿನ ಆಘಾತದಿಂದ,

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಆದರ ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಕೀಳಲ್ಪಟ್ಟು ಹೊರಗಿನ ಮಂಡಲ ದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವುದರಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸಾಧನದಿಂದ ಬೆಳಕಿನಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾದಂತಾಯಿತು. ಇದೊಂದು ದೊಡ್ಡ ಐತಿಹಾಸಕ ಘಟನೆ. ಇದೇ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ. ಮೇಲಿನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಮಾಡಿ, C ಯನ್ನು B ಕೋಶದ ಧನ ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಬಂಧಿಸಿದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಇರುವುದಿಲ್ಲ.

C, A ಫಲಕಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿದರೆ, ಇನ್ನೂ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯಗಳು ಹೊರ ಬಿದ್ದುವು.

ಸತುವೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಮ್ಯಾಗ್ನೀಸಿಯಂ (Mg), ಲಿಥಿಯಂ (Li) ಲೋಹಗಳೂ ಕೂಡ, ನೀಲಾತೀತ ಬೆಳಕಿಗೆ ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನೇ ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆ. ಆಲ್ಕಲಿ ಲೋಹಗಳಾದ ಸೋಡಿಯಂ, ಪೊಟಾಸಿಯಂ, ರುಬಿಡಿಯಂ, ಸೀಸಿಯಂ (Na, K, Rb, Cs) ಮೇಲ್ಮೈಯ ಫಲಕಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯ ದೃಶ್ಯ ಬೆಳಕಿಗೂ ಇದೇ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ತೋರ್ಪಡಿಸುತ್ತವೆ. ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಸರ್ಜನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಯು ಮೇಲ್ಮೈಯ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಗುಣ–ಇವೆರಡನ್ನೂ ಅವಲಂಬಿಸಿರು ತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿ, ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡ ಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಕೆಲವು ಸೂತ್ರಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸ ಬಹುದು.

ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸೂತ್ರಗಳು

(i) ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (ν) ಯನ್ನು ನಿಯತವನ್ನಾಗಿಟ್ಟು, ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು (intensity) ಮಾತ್ರ ಬದಲಾಯಿಸಿದರೆ, ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ (photo-electric current) ಪ್ರಮಾಣವು ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭೆ ಯನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಅದರ ಪ್ರಮಾಣದಂತೆಯೇ ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಭೆಯ ಬೆಳಕು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತದೆ.

(ii) ಪ್ರಕಾಶ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭೆಯನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸದೆ ಅದರ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (ಅಂದರೆ, ನೀಲಿ, ಹಸುರು–ಮುಂತಾದ ಬಣ್ಣದ ಬದಲಾವಣೆಗಳು) ಯನ್ನು ಬದಲಾ ಯಿಸಿದರೆ, ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ವೇಗದ ಪ್ರಮಾಣವು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ನೀಲ ಬೆಳಕಿನಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಕಣಗಳ ವೇಗವು ಹಸುರು ಬೆಳಕಿನದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು. ಕಣಗಳ ವೇಗಕ್ಕೂ, ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾಶಕ್ತಿಗೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವೂ ಇಲ್ಲ.

(iii) ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳ ವಿಸರ್ಜನೆ ಯಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದು ಅಧೋಮಿತಿ (minimum) ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕು.

(iv) ಮೇಲಿನ ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುವಂತೆ ಚಿತ್ರ 4.12 (b) ರಲ್ಲಿ ರುವ ರೇಖೆಯನ್ನು ಎಳೆಯಬಹುದು.

O X ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (ν) ಯನ್ನೂ OY ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಹೊರ ಬೀಳುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳ ಅತ್ಯಧಿಕ ಚಲನಶಕ್ತಿ (E_{max}) ಯನ್ನೂ ಗುರುತಿಸಿದೆ.

V_{max} = ಕಣಗಳ ಅತ್ಯಧಿಕವೇಗವಾದರೆ,

$$E_{max} = \frac{1}{2} M v^2_{max}$$

$E-\nu$ ಗಳ ಸಂಬಂಧ ರೇಖೆ (graph) ಯು MN ಸರಳ ರೇಖೆ. ಇದು OX ಅಕ್ಷವನ್ನು M ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸಿದರೆ, $OM = \nu_0$ ಆಗಿ, ν_0 = ಕನಿಷ್ಠ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ ಆಗುತ್ತದೆ.

$E = K\ (\nu - \nu_0)$ ಎಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ... 4.24

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ವಿವರಣೆ ಮತ್ತು ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಮೀಕರಣ

ದ್ಯುತ್‌ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಂಬಂಧವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಬಂದ ಸೂತ್ರಗಳಿಗೆ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡಲು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನವು ಸಮರ್ಥವಾಗಲಿಲ್ಲ. ಇಷ್ಟೇ ಅಲ್ಲ ; ಬೆಳಕು ಅಲೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರವಾಗಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದ ಭಾವನೆಯನ್ನೇ ಬಿಡಬೇಕಾದ ಪ್ರಸಂಗವು ಉಂಟಾಯಿತು. ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸೂತ್ರಗಳು ಬೆಳಕಿನ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆಯ ಸ್ವರೂಪಕ್ಕೆ ನೇರವಾಗಿ ವಿರೋಧವಾಗಿರುವುದು ಕಂಡು ಬಂದಿತು. ಈ ಸಂದಿಗ್ಧ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಎರಡೇ ಪರಿಹಾರಗಳು ಕಂಡುಬಂದವು. ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಕೈ ಬಿಡುವುದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾದರೂ, ಅದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಯಾವ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡರೆ, ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಸಮರ್ಥನೆ ದೊರೆಯುತ್ತದೆ ಎಂಬುದು ಪ್ರಶ್ನೆಯಾಗಿ ಉಳಿಯಿತು.

ಇಂಥ ಉತ್ಕಟ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಎತ್ತಿಹಿಡಿದು ಅದನ್ನು ಅನ್ವಯ ಮಾಡಿದರೆ ಮಾತ್ರ, ಪ್ರಯೋಗ ಗಳಿಗೆ ತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ವಿವರಣೆ ಸಿಕ್ಕುತ್ತದೆಂದು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು. ಇದನ್ನೇ ಆತನು 1905 ರಲ್ಲಿ ಅವನ ಹೆಸರಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾಗಿರುವ ಸಮೀಕರಣದ ಮೂಲಕ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು.

ಪ್ಲಾಂಕ್ 1900 ರಲ್ಲಿ ಉಷ್ಣವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗಿದ್ದ ತೊಡಕನ್ನು ಪರಿಹರಿಸಲು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಇದರ ಮೂಲ ಸಮೀಕರಣವು

$$E = h\nu \qquad \ldots \quad 4.25$$

ಇದು ಎಲ್ಲ ವಿಧವಾದ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿರೂಪ (radiation) ಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ. ν= ಅದರ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯಾದರೆ, ಶಕ್ತಿಮೊತ್ತ (quantum) ದ ಪ್ರಮಾಣವು E ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಶಕ್ತಿಯು ವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿದ್ದು (discontinuous) ಅದರ ಪ್ರಮಾಣದ ಅಭೇದ್ಯ ಮೌಲ್ಯವು $h\nu$ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, ವಾಸ್ತವ್ಯ ಮೌಲ್ಯಗಳು, $h\nu$, $2h\nu$, $3h\nu$,......$nh\nu$ ಮಾತ್ರ ಆಗಿರಬಹುದು. (n = ಪೂರ್ಣಾಂಕ).

λ = ತರಂಗಾಂತರ, c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವಾದರೆ,

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \text{ ಆಗುತ್ತದೆ.} \qquad \ldots \quad 4.26$$

ಈ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಬೆಳಕಿಗೆ ಅನ್ವಯ ಮಾಡಿ, ಬೆಳಕು ಕೂಡ, ಫೋಟಾನ್ (photon) ಅಥವಾ ದ್ಯುತಿಕಣದ ರೂಪದಲ್ಲಿರಬೇಕೆಂದು ವಾದಿಸಿದನು. ಮೇಲಿನ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೀಗೆ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬಹುದು.

(1) ಫಲಕದ ಮೇಲ್ಮೈಯಿನ ಮೇಲೆ ಬೀಳುವ ಬೆಳಕು ಫೋಟಾನ್‌ಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಆಪಾತವಾಗುತ್ತದೆ. ಆ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ν ಆದರೆ, ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ, ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಒಂದು ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು ಮೇಲ್ಮೈ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಫೋಟಾನ್‌ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಹೊಕ್ಕು ಅದರ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ಹೊರದೂಡುವಂತೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಆ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿದಂತೆ, ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಬಂಧನದಿಂದ ಮುಕ್ತಿಗೊಳಿಸಲು ಸ್ವಲ್ಪ ಶಕ್ತಿಯು ವ್ಯಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು Wo ಆಗಿರಲಿ. ಇದನ್ನು ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ ಫಲನ (work-function) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದು ಒಂದೊಂದು ಲೋಹಕ್ಕೂ ಬೇರೆ ಬೇರೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಬಂಧನದಿಂದ ಮುಕ್ತವಾದಮೇಲೆ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದು ಹೊರಗಡೆ v ವೇಗವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ, ಇದರ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯು $E = \frac{1}{2} mv^2$

ಆಗಬೇಕು. E_{max}= ಈ ಚಲನೆಯ ಶಕ್ತಿಯ ಉಚ್ಚವೌಲ್ಯವಾದರೆ, ನಾವು ಶಕ್ತಿಯ ನಿಯತತ್ವದ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು.

ಫೋಟಾ್ಕಣದ ಮೂಲಶಕ್ತಿ $= h\nu =$ (ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಬಂಧನಮುಕ್ತಿಯ ಶಕ್ತಿ) $w_0 +$ (ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನ ಬಾಹ್ಯ ಚಲನ ಶಕ್ತಿ) $\frac{1}{2} m v^2_{max}$

ಇದೇ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಸರಳ ಸಮೀಕರಣ

$$\frac{1}{2} m v^2_{max} = h\nu - w_0 \qquad \ldots \quad 4.27$$

ಫೋಟಾನ್‌ಶಕ್ತಿಯು ಹೊಂದಿರಬೇಕಾದ ಅಧೋಮಿತಿಯು $h\nu_0 = w_0$ ... 4.28 ಆಗ, $v = o$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಬಂಧನ ಮುಕ್ತಿಯೇ ಇಲ್ಲ. $h\nu > w_0$ ಆದರೆ, ಕಣಗಳು ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ.

ν_0 = ಹೊಸಲು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (threshold frequency) ಎಂದು ಹೇಳಬಹುದು. ಈಗ ಚಿತ್ರ 4.12 (b) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ

$$O\,M = \nu_0 = \frac{w_0}{h}$$

$$E = \frac{1}{2} m\nu^2_{max} = h\nu - h\nu_0 = h\ (\nu - \nu_0)$$

M N ಸರಳ ರೇಖೆಯ ಸಮೀಕರಣವು

$$E = K\ (\nu - \nu_0) \text{ ಆದರೆ, } h = K \qquad \ldots \quad 4.28$$

ಅಂದರೆ, M N ರೇಖೆಯ ಓರಣವು θ ಆದರೆ, $K = \tan\theta = h$.

ಈ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ, E ಗೂ, ν ಗೂ ಸಂಬಂಧವಿದೆಯೇ ಹೊರತು, E ಗೂ, ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾಶಕ್ತಿಗೂ ಏನೂ ಸಂಬಂಧವಿಲ್ಲ.

ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚಾದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಫೋಟಾನ್‌ಕಣಗಳು ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳುತ್ತವೆಂದು ಅರ್ಥ. ಅದರಿಂದ, ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ (electric current) ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗಬೇಕು.

ಹೀಗಾಗಿ, ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ರಿಯೆಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದಿಂದ ಮಾತ್ರ ಸಮಂಜಸ ಮತ್ತು ಪೂರ್ಣವಾದ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಯ

ಬೇಕು. ಈ ಪ್ರಯೋಗವು ಎರಡು ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳ ಸತ್ತ್ವ ಪರೀಕ್ಷೆಯಂತಿದ್ದು, ನವೀನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಕಲಶಪ್ರಾಯವಾದ ಯಶಸ್ಸನ್ನು ತಂದಿತು.

ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ಈ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ವಿಶದಪಡಿಸಬಹುದು. ಒಂದು ಪೊಟಾಸಿಯಂ ಮೇಲ್ಮೈಯಮೇಲೆ 700mμ ಬೆಳಕುಬಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ವಿಸರ್ಜಿಸಬಹುದು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಬಂಧನ ಮುಕ್ತಿಯನ್ನು ಮಾಡಬಲ್ಲ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವೇನು ? ಇದೇ ಮೇಲ್ಮೈಯಮೇಲೆ 500mμ ತರಂಗದೂರದ ಬೆಳಕನ್ನು ಪ್ರಕಾಶಗೊಳಿಸಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ವೇಗ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಯೇನು ?

ಇಲ್ಲಿ $w_o = h\nu_o = \dfrac{hc}{\lambda o}$

$\lambda_o = 700m\mu = 700 \times 10^{-9}$ ಮೀಟರ್

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ ಜೂಲ್ ಸೆಕೆಂಡ್

$c = 3 \times 10^{8}$ ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್

$$w_o = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{700 \times 10^{-9}} = 2.84 \times 10^{-19} \text{ ಜೂಲ್}$$

500 mμ ತರಂಗದೂರದ ಬೆಳಕು ಆಪಾತವಾದರೆ,

ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು $h\nu = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6\ 63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{500 \times 10^{-9}}$

$= 3.98 \times 10^{-19}$ ಜೂಲ್

$\therefore\ E_{max} = (h\nu - h\nu_o) = (3\ 98 - 2.84)\ 10^{-19}$

$= 1.14 \times 10^{-19}$ ಜೂಲ್

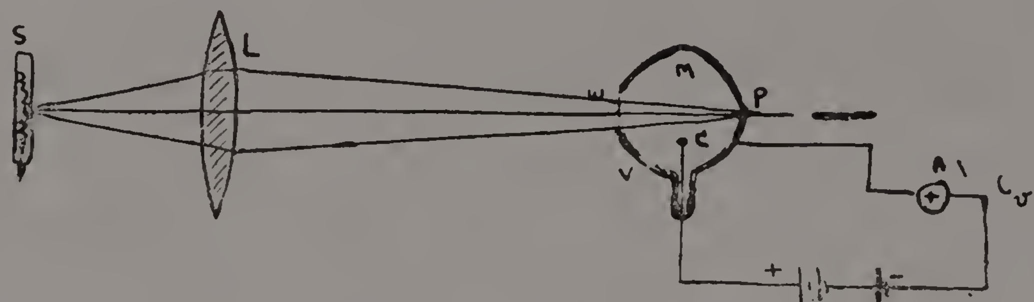
$= \frac{1}{2} mv^2_{max}\quad m = 9.1 \times 10^{-31}$ ಕಿಲೋಗ್ರಾಂ

$\therefore\ v_{max} = \sqrt{\dfrac{2\ E_{max}}{m}} = 5 \times 10^{5}$ ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್ ಉತ್ತರ

ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶಗಳು

ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯು ಎಷ್ಟು ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆ ಇದೆಯೋ ಅಷ್ಟೇ ಅಥವಾ ಅದಕ್ಕಿಂತ ಅತಿಹೆಚ್ಚಾದ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಅದರ ಉಪಯೋಗಗಳು ಹಲವಾರು ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿವೆ. ಬೆಳಕಿನ ಸಹಾಯದಿಂದ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದರಿಂದ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯು ಎಷ್ಟು ಪ್ರಯೋಜನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿಸುತ್ತದೆಯೋ ಅವುಗಳನ್ನು ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದಲೂ ಸಾಧಿಸಬಹುದು. ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪ್ರಮಾಣವು ಅಲ್ಪವಾಗಿದ್ದರೂ,

ಅದನ್ನು ಬೇರೆ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ವರ್ಧನಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಅಂಗವು ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶ. ಇದರ ಒಂದು ಮಾದರಿಯ ರಚನೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 4.13 ರಿಂದ ಕಾಣಬಹುದು



ಚಿತ್ರ 4.13 ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶ

v ಎಂಬುದು ಒಂದು ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ಬಲ್ಬ್. ನೀಲಾತೀತ ಬೆಳಕನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವಾಗ ಇದು ಬೆಣಚಿನಿಂದಲೂ, ಸಾಮಾನ್ಯ ದೃಶ್ಯ ಬೆಳಕಿಗೆ ಗಾಜಿನಿಂದಲೂ ರಚಿಸಿರಬಹುದು. ಇದರ ಒಳಗಿನ ಆವರಣವನ್ನು ನಿರ್ವಾತವನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಿರಬೇಕು. ಇದರ ಒಳಭಾಗವನ್ನೆಲ್ಲ ಆಲ್ಕಲಿ ಲೋಹದ (ಪೊಟಾಸಿಯಂ, ಸೀಸಿಯಂ) ಸಣ್ಣ ಪದರದ ಲೇಪದಿಂದ ಆವರಿಸಬೇಕು. ಒಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪಭಾಗ (w) ವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹಾಗೆಯೇ ಬಿಟ್ಟಿರಬೇಕು. ಇದು ಕಿಟಕಿಯಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ಇದರ ಮೂಲಕ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು ಹಾಯಲು ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. s ಎಂಬುದರಿಂದ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು ಪ್ರಸಾರವಾಗಿ (L) ಯುವದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ನಾಳಿಕೆಯೊಳಗೆ ಪ್ರವೇಶಿಸಿ ಅದರ ಹಿಂಭಾಗದ P ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಸಂಗಮವಾಗುತ್ತವೆ. P ಇಂದ ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. c ಎಂಬುದು ಒಂದು ಧನಧ್ರುವ ಅಂದರೆ ಇದನ್ನು ಹೊರಗಣ ವಿದ್ಯುತ್ಕೋಶ (B)ದ ಧನಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಬಂಧಿಸಿ, ಅದರ ಋಣಧ್ರುವವನ್ನು ಒಳಗಿನ ಲೋಹದ ಪದರಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದೆ.

P ನಿಂದ ಹೊರಟ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು c ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಆಕರ್ಷಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಅಲ್ಲಿ ಸಂಗ್ರಹವಾಗುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲಿಂದ ಹೊರಗಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಹರಿದು, A ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕದಿಂದ ಗುರುತಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹದ ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ.

ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಉಪಯೋಗಗಳು -

ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶವನ್ನು ಯಕ್ಷಿಣೀ ಕಣ್ಣು (magic eye) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ನಮ್ಮ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕಣ್ಣಿಗಿಂತ ಇದರ ಪ್ರಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ದಕ್ಷತೆಯು

ಬಹಳಪಾಲು ಹೆಚ್ಚು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದುದು. ನಮ್ಮ ಇಂದಿನ ನಾಗರಿಕ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ನಾನಾ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿದೆ.

ಖಭೌತಿಕ (astro-physical) ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ಉಷ್ಣಾಂಶ ಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಇದು ಉಪಯೋಗಕ್ಕೆ ಬರುತ್ತದೆ. ಕುಲುಮೆಗಳ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಣ ಮಾಡುವುದಕ್ಕೂ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭೆಯನ್ನು (photometry) ಅಳೆಯುವುದರಲ್ಲಿಯೂ, ಇದನ್ನು ಉಪ ಯೋಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಕಳ್ಳಕಾಕರ ಆಗಮನವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿ ಸಕಾಲದಲ್ಲಿ ಎಚ್ಚರಿಕೆ ಕೊಡಲು, ಮನೆ ಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಸಾಧನಗಳನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಬಹುದು. ಕಣ್ಣಿಗೆ ಕಾಣದ ರಕ್ತಾತೀತ (infra-red) ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನು ಕೊಠಡಿಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಸರಿಸಿಸಿ ಒಂದು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಕಿಟಕಿಯ ಮೂಲಕ ಪ್ರವೇಶಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಚಿತ್ರ (4.13) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಉಪಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ, ಯಾರಾದರೂ ಈ ಅದೃಶ್ಯ ಕಿರಣಗಳ ಸಮೂಹದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದರೆ, ಆಕ್ಷಣದಲ್ಲಿಯೇ, ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ತಡೆಯಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ವಿದ್ಯುತ್ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ Aಗೆ ಬದಲು ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ರಿಲೇ (relay) ಯನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದ್ದರೆ, ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳ ತಾತ್ಕಾಲಿಕ ತಡೆಯಿಂದ, ಒಂದು ಗಂಟೆಯು ಶಬ್ದಮಾಡುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಯಾವ ಕಾಲವಿಳಂಬವೂ ಇಲ್ಲದೆ, ಆಗಂತುಕನಿಗೆ ಗೊತ್ತಾಗದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಮುನ್ಸೂಚನೆ ಕೊಟ್ಟಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ವಿಧವಾದ ರಿಲೇಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಸ್ಥಳ ಗಳಲ್ಲಿ ಏರ್ಪಡಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, ಬೀದಿ ದೀಪಗಳ ಉರಿಯುವಿಕೆಯ ನಿಯಂತ್ರಣ, ಮಾರ್ಗದರ್ಶಕ ಸಂಕೇತಗಳು ಮುಂತಾದುವನ್ನು ಅನಾಯಾಸವಾಗಿ ಹತೋಟಿ ಯಲ್ಲಿಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನೂ ನಿತ್ಯ ವ್ಯವಹಾರಗಳಲ್ಲಿ ಪಡೆಯಬಹುದು.

ಇನ್ನು ಮನೋರಂಜನೆಯ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಪ್ರಪಂಚದ ಮೂಲೆ ಮೂಲೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಹಬ್ಬಿರುವ ವಾಕ್ ಚಿತ್ರಗಳು ಮತ್ತು ಟೆಲಿವಿಷನ್ ದೃಶ್ಯಗಳು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶಗಳನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡಿವೆ.

ವಾಕ್ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಭಾಗಗಳಿವೆ. ಒಂದು ನಟನೆಯ ಭಾಗ (action) ಮತ್ತು ಶಬ್ದದ ಭಾಗ (sound-track). ಈ ಎರಡನೆಯ ಭಾಗವು ಫಿಲಂನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅಂಚಿನಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಶಬ್ದಗಳನ್ನು ಬೆಳಕಿನ ವಿಧಾನಗಳ ಮೂಲಕ ಮುದ್ರಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ನಂತರ, ಈ ಮುದ್ರಿತ ಭಾಗದಿಂದ ಮತ್ತೆ ಶಬ್ದರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆಮಾಡಬೇಕು. ಮುದ್ರಣ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ, ಮೊದಲು ವ್ಯಕ್ತಿಯು ಒಂದು

ಮೈಕ್‌ನ ಮುಂಚೆ ಮಾತನಾಡುತ್ತಾನೆ. ಆದರಲ್ಲಿ ಮಾತು ಅಥವಾ ಶಬ್ದಗಳ ಪ್ರಮಾಣ ಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಘಾತ (impulses) ಗಳ ಬದಲಾವಣೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ವರ್ಧನಗೊಳಿಸಿ, ಒಂದು ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಗ್ರಾಹಕ (camera) ಕ್ಕೆ ಒಯ್ಯಲಾಗುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಂಪನಗಳು ಒಂದು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮಗಾತ್ರದ ಕಿಂಡಿಯನ್ನು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಅಗಲಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತಿರುವ ಕಿಂಡಿಯ ರಂಧ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳ ಸಮೂಹವು ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣ ಗಳ ಬೆಳಕಿನ ಮುದ್ರಿಕೆಗಳನ್ನು ಫಿಲಂನ ಮೇಲೆ ಒತ್ತುತ್ತವೆ. ಬಹಳ ಗಟ್ಟಿಯಾದ ಶಬ್ದವು, ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಭೆಯ ಬೆಳಕಿನ ಮುದ್ರಿಕೆಯನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಮೂಲ ಶಬ್ದದ ಬದಲಾವಣೆಗಳ ರೂಪಗಳನ್ನು ತದ್ವತ್‌ರೂಪದ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಕಾಶದ ಬದಲಾವಣೆಗಳಾಗಿ ಫಿಲಂನಮೇಲೆ ಮುದ್ರಿತ ವಾಗುತ್ತವೆ. ಇದೇ ಫಿಲಂನ ಅಂಚಿನಲ್ಲಿ ಮುದ್ರಿತವಾಗಿರುವ ಶಬ್ದದ ಭಾಗ. ಈಗ ಇದರಿಂದ ಮತ್ತೆ ಶಬ್ದಗಳ ರೂಪಕ್ಕೆ ತರಬೇಕಾದರೆ, ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶಮಾನ ವಾದ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಿಂಡಿಯಿಂದ (slit) ಹಾಯಿಸಿ ಇದರ ಮೂಲಕ ಹೊರಡುವ ಬೆಳಕನ್ನು ಫಿಲಮ್ಮಿನ ಶಬ್ದದ ಭಾಗದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿ ಅದರ ಹಿಂದೆ ಒಂದು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶವನ್ನು ಇಡಬೇಕು. ಶಬ್ದದ ಭಾಗದ ವಿವಿಧ ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಸಾಂದ್ರತೆಯ (density) ಬದಲಾವಣೆಗಳಿರುವುದರಿಂದ, ಇವು ಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹವು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದಿಂದ ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಂಪನಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ಶಕ್ತಿವರ್ಧನಮಾಡಿಸಿ, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಒಂದು ಉಚ್ಚವಾಚಕ (loud-speaker) ಕ್ಕೆ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಅದರಿಂದ ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣ ಗಳ ಶಬ್ದಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ನಮ್ಮ ಕಿವಿಯನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಮೂಲ ಶಬ್ದಗಳ ತದ್ವತ್‌ರೂಪದ ಪ್ರತಿಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

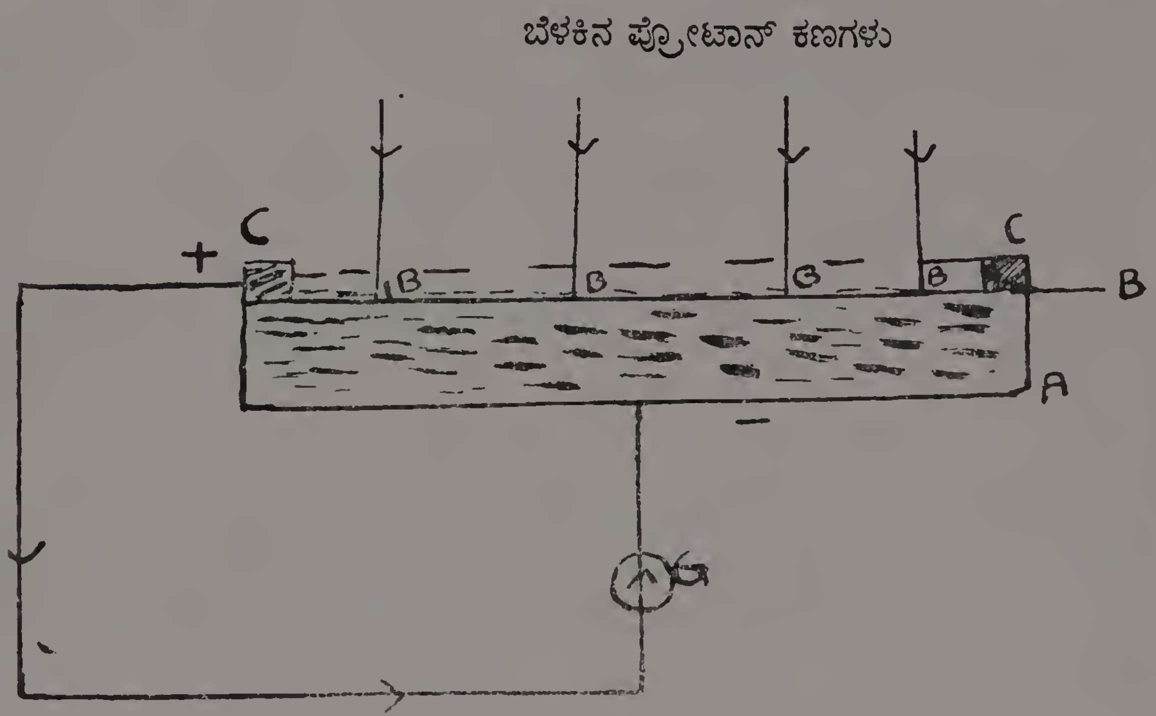
ನಾವು ವೃತ್ತ ಪತ್ರಿಕೆಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ಚಿತ್ರಗಳು ದೂರಸ್ಥಳಗಳಿಂದ ಪ್ರಸಾರ ವಾದ ಭಾವಚಿತ್ರಗಳಾಗಿರಬಹುದು. ಈ ವಿಧಾನವನ್ನು ಫೋಟೋ ಟೆಲಿಗ್ರಫಿ (photo-telegraphy)ಯೆಂದೂ, ಬೆಲಿನೋಗ್ರಾಂ (belinogram) ಎಂದೂ ಕರೆಯುವುದುಂಟು. ಇದರಲ್ಲಿ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಪಾತ್ರವೇ ಪ್ರಧಾನ ವಾದುದು. ಪ್ರೇಷಕ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ನಾವು ಪ್ರಸಾರಬೇಕೆಂದಿರುವ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಒಂದು ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯ ಮೇಲೆ ಸುತ್ತಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯು (cylinder) ಒಂದು ನಿಯತ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದರ ಜೊತೆಗೆ, ಅದರ ಅಕ್ಷದ ನೇರದಲ್ಲಿ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಚಲಿಸುವಂತೆಯೂ ಅಳವಡಿಸಿದೆ. ಈ ಚಿತ್ರದ ಮೇಲೆ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ

ಪ್ರಕಾಶದ ಬೆಳಕು ಬೀಳುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಚಿತ್ರದ ರಚನೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಆಯಾ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರತಿಫಲಿತವಾಗುವ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯು ತನ್ನ ಅಕ್ಷದ ನೇರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವುದರ ಫಲವಾಗಿ, ಬೆಳಕು ಚಿತ್ರದ ಎಲ್ಲಾ ಭಾಗಗಳನ್ನೂ ಆವರಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಈ ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಪ್ರತಿಫಲಿತ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಕಾಶಗಳು ಒಂದು ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದರೆ, ಅದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಅದನ್ನು ಅನುಸರಿಸುವ ಪ್ರಮಾಣ ಭೇದಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ-ಇವುಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ವರ್ಧನಗೊಳಿಸಿ, ಬಾನುಲಿಯ ಪ್ರೇಷಕ ಯಂತ್ರದಿಂದ ರೇಡಿಯೋ ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರಗೊಳಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ–ಈ ಅಲೆಗಳು ಆಕಾಶದಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರವಾಗಿ, ಗ್ರಾಹಕ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ ಏರಿಯಲ್ ತಂತಿಗಳಿಂದ ಗ್ರಹಣವಾಗಿ ಅಲ್ಲಿರುವ ಸೂಕ್ತ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ, ಮತ್ತೆ ಬೆಳಕಿನ ವಿವಿಧ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರಕಾಶಗಳಿಗೂ, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಒಂದು ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಗೆ ಸುತ್ತಿರುವ ಫಿಲಂನ ಮೇಲೆ ಚಿತ್ರಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಪ್ರೇಷಕ ಮತ್ತು ಗ್ರಾಹಕ ಕೇಂದ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಿರುವ ಯಂತ್ರ ಭಾಗಗಳು ಒಂದೇ ರೂಪ ಮತ್ತು ಚಲನೆಗಳನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಸಕಾಲಿಕ (synchronised) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿರುವುದು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯ.

ಟೆಲಿವಿಷ‌ನ್ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ಚಿತ್ರಗಳನ್ನೂ, ದೃಶ್ಯಗಳನ್ನೂ ಬಾನುಲಿಯ ಪ್ರಸಾರಕ್ಕೆ ಅಳವಡಿಸುವಾಗ, ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಲೇಬೇಕು. ಪ್ರೇಷಕ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗಿರುವ ಪ್ರಧಾನ ಅಂಗವು ಐಕನಸ್ಕೋಪ್ (iconoscope). ಇದು ಕ್ಯಾಥೋಡ್‌ಕಿರಣ ಆಂದೋಲನ ಲೇಖಕ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನೂ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶವನ್ನೂ (cathode-ray oscilloscope and a photo-cell) ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿರುವ ಸಾಧನ. ಇದರಿಂದಲೇ, ವಿವಿಧ ಪ್ರಕಾಶ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ತದ್ವತ್ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಒಳಗೊಂಡಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಿ, ಏರಿಯಲ್ ತಂತಿಗಳ ಮೂಲಕ ರೇಡಿಯೋ ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಾರ ಮಾಡಿಸುತ್ತಾರೆ. ಗ್ರಾಹಕ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಇವುಗಳನ್ನು ಮತ್ತೆ ವಿಪರ್ಯಸ್ತ (reversed) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತಿಸಿ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಸ್ಫುರಣ ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಚಿತ್ರರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರದರ್ಶಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಏಕ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ದೃಶ್ಯ ಮತ್ತು ಶಬ್ದ ಭಾಗಗಳನ್ನು ಪ್ರಸಾರ ಮಾಡುವುದರ ಮೂಲಕ ನಾವು ಇಂದು ಟೆಲಿವಿಷ‌ನ್ (ಟಿ.ವಿ.) ಉಪಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ಚಿತ್ರ ಮತ್ತು ಅದರೊಂದಿಗೆ ಸಮಕಾಲಿಕವಾಗಿ ಮುದ್ರಿತವಾಗಿರುವ ಶಬ್ದಗಳನ್ನೂ ಒಟ್ಟಿಗೆ ನೋಡಿಯೂ ಮತ್ತು ಕೇಳಿಯೂ ನಾಟಕದ ಅನುಭವವನ್ನು ತೆರೆಯ ಮೂಲಕ ಪಡೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ.

ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಇತರ ಮಾದರಿಗಳು

ಮೇಲೆ ನಿರೂಪಿಸುವ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಅಲ್ಲದೆ, 'ಫೋಟೋ ವಾಲ್ಟಾಯಿಕ್' (photo-voltaic) ಮಾದರಿಯ ಕೋಶಗಳೂ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿವೆ. ಈ ಮಾದರಿಯ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ. 4.14 ಸೆಲಿನಿಯಂ ಕೋಶ

A ಎಂಬುದು ಒಂದು ಲೋಹದ ಬಿಲ್ಲೆ (disk). ಇದು ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಕಬ್ಬಿಣದ ಫಲಕವಾಗಿರಬಹುದು. ಇದರ ಮೇಲ್ಭಾಗದಲ್ಲಿ (B) ಸೆಲಿನಿಯಂನ ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಪರೆಯ ಲೇಪವೂ ಅದರ ಮೇಲೆ ತೆಳುವಾದ ಚಿನ್ನದ ಲೇಪವನ್ನು ಮಾಡಿರುತ್ತದೆ. ಇದೇ C ಎಂಬ ವಿದ್ಯುವಾಹಕ. ಮತ್ತೊಂದು ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ A ಯು ತಾಮ್ರದ ಫಲಕ, Bಯು ತಾಮ್ರದ ಆಕ್ಸೈಡ್ ಮತ್ತು C ಯು ಬೆಳ್ಳಿಯ ಮೇಲ್ಮೈ.

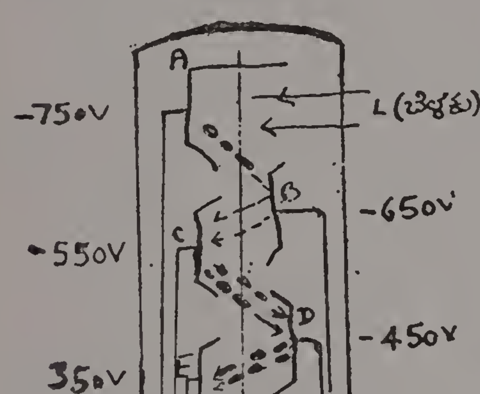
ಈ ಮೇಲ್‌ಪರೆಯ ಮೇಲೆ ಬೆಳಕು ಆಪಾತವಾದರೆ, A,Bಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವವು (P.D.) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಫಲದಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು B ಇಂದ Aಗೆ ಪ್ರವಹಿಸಿ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಮಾಪಕ (G)ದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಎಕ್ಸ್‌ಪೋಷರ್ ಮಾಪಕಗಳಲ್ಲಿ (exposure meters) ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ.

ಭೂ ಉಪಗ್ರಹಗಳಲ್ಲಿಯೂ (satellites) ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶ ನೌಕೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇದೇ ಮಾದರಿಯ ಕೋಶಗಳಿಂದ ಸೂರ್ಯನ ಬೆಳಕನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತಿಸಲು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ಮಾದರಿಯನ್ನು 'ಫೋಟೋಕಂಡಕ್ಟಿವ್' (photo-conductive) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಜರ್ಮೇನಿಯಂನಂಥ ಅಲ್ಪ ವಾಹಕ (semi-conductor) ವಸ್ತುವನ್ನು ಪ್ರಕಾಶ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದರೆ, ಅದರ ವಿದ್ಯುತ್ ರೋಧವು (resistance) ಬಹಳವಾಗಿ ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆಯೇ, ಸೆಲಿನಿಯಂನ ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕ ಶಕ್ತಿಯೂ, ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಇದೂ ಒಂದು ರೀತಿಯ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯೇ. ಆದ್ದರಿಂದ ಬೆಳಕನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನ ಮಾಡುವ ಉಪಕರಣವಾಗಿ ಕೆಲಸ ಮಾಡಬಲ್ಲುದು.

ದ್ಯುತಿ ವರ್ಧಕಗಳು (photo-multiplier)

ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಒಂದು ವಿಶಿಷ್ಟ ಮಾದರಿಯ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ದ್ವಿತೀಯ (secondary) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿಸರ್ಜನೆಯ ವಿಧಾನವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಅತಿ ದುರ್ಬಲವಾದ ಬೆಳಕನ್ನು ಕೂಡ ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ರಚನೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 4.15 ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ A ಎಂಬುದು ಮೊದಲಿನ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ (photo-cathode)—



ಚಿತ್ರ 4.15 ದ್ಯುತಿವರ್ಧಕ ನಾಳಿಕೆ

ಇದರ ಮೇಲೆಯೇ ಹೊರಗಿನಿಂದ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು (L)ಆಪಾತವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಫಲಕವೇ ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಋಣವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದು-750Vಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳೋಣ. A ನಿಂದ ಹಿಡಿದು B,C,D,E,F,Gಗಳು ಉಳಿದ ಫಲಕಗಳು ಹಂತಹಂತವಾಗಿಯೂ, ಎದುರು ಬದುರಾಗಿಯೂ ಸ್ಥಾಪಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಇವುಗಳ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗಳನ್ನು ಕ್ರಮಕ್ರಮವಾಗಿ 100V ಅಂತರಗಳಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚಿಸುತ್ತ ಹೋಗಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಇವುಗಳು ಅನುಕ್ರಮವಾಗಿ–650V, –550V, –450V, –350V, –250V, 150V ಗಳಾಗಿರಬಹುದು. ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ H ಎಂಬ ಒಂದು ಸಂಗ್ರಾಹಕ (collector) ಫಲಕವನ್ನು (ನಿರ್ವಾತ) ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದೆ. A ಫಲಕವು ಸೀಸಿಯಂ ಆಕ್ಸೈಡ್, ಮತ್ತು ರಜತಪದರದ ಲೇಪವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಂತೆಯೇ ಇತರ ಫಲಕಗಳು Gವರೆಗೆ ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಅನುವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಒಂದಕ್ಕೊಂದು ಅಭಿಮುಖವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, A ಫಲಕ(ಕ್ಯಾಥೋಡ್)ದಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಮೂಹವು ನೇರಾಗಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ B ಫಲಕಕ್ಕೆ ಆಕರ್ಷಿತ ವಾಗುತ್ತವೆ (B ಗಿಂತ Aಯ ವೋಲ್ಟೇಜ್ +100V ಇರುತ್ತದೆ). ಈ ಸಂಘಾತ ದಿಂದ ಅಧಿಕ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೆಲ್ಲವೂ C ಫಲಕದ ಮೇಲೆ ಆಘಾತ ಮಾಡುವುದರ ಫಲವಾಗಿ ಬಹುಗುಣ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. B,C...G ಗಳನ್ನು ಡೈನೋಡ್ (dynodes) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಹಂತ ಹಂತದಲ್ಲಿ ಬಹು ಗುಣಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕೊನೆಯಲಿ G ಇಂದ ಹೊರಬಿದ್ದು H ಎಂಬ ಸಂಗ್ರಾಹಕಫಲಕದಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡುತ್ತವೆ. ಇಷ್ಟು ಹೊತ್ತಿಗೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಧಾರೆಯೇ (avalanche) ಏರ್ಪಟ್ಟು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯು ದಂಶವೂ ವಿದ್ಯುತ್ಪ್ರವಾಹವೂ H ನಿಂದ ಹೊರಗಿನ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದು, ಸೂಕ್ತವಾದ ಲೇಖಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ಸಕ್ರಿಯೆಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಅತಿ ದುರ್ಬಲವಾದ ದೃಶ್ಯ ಬೆಳಕೇ ಅಲ್ಲದೆ, ನೀಲಾತೀತ ಅಥವಾ ರಕ್ತಾತೀತ ಬೆಳಕು ಕೂಡ ಸಾವಿರಾರುಪಟ್ಟು ವೃದ್ಧಿಗೊಳ್ಳುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು.

ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸಂಘರ್ಷಣದಿಂದ 6 ದ್ವಿತೀಯ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುತ್ತವೆಂದು ತಿಳಿದು ಇಂಥ 5 ಹಂತಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಗ್ರಹವಾಗುವ ಒಟ್ಟು ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ $6^5 = 7776$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಾಗುತ್ತವೆ.

ಇವುಗಳನ್ನು ಟೆಲಿವಿಷನ್ ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಆಧುನಿಕ ಅತ್ಯಂತ ವೇಗ ಗತಿಯ ಗಣಕಗಳಲ್ಲಿಯೂ (super-speed counters), ಸ್ಫುರಣಗಣಕಗಳಲ್ಲಿಯೂ (scintillation counters) ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ.

ಇದುವರೆವಿಗೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಬಹುಮುಖ ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವವನ್ನು ತಿಳಿಸಿ ದ್ದಾಯಿತು. ಇದು ಸ್ವತಃ ವಿದ್ಯುದಂಶ (–) ವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದ ಕಣವಾದರೂ, ಇದಕ್ಕೂ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವು ಅತಿ ನಿಕಟವಾದದ್ದು. ಇದನ್ನು ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣದಂತೆಯೂ, ಉಷ್ಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಥರ್ಮಯಾನ್ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೂ, ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ರಿಯೆ ಯಲ್ಲಿ ಫೋಟೋ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನಂತೆಯೂ, ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕ ದ್ರವಗಳ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಋಣ ಅಯಾನ್‌ನಂತೆಯೂ ಕಾಣಬಹುದು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯಲ್ಲಿ (radioactivity) ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ β ಕಿರಣಗಳಂತೆಯೂ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದರ ವಿಷಯವನ್ನು ಮುಂದೆ ವಿಸ್ತರಿಸಲಾಗುವುದು. ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಈ ಕಣವು ಎಲ್ಲ ವಸ್ತು ಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಧಾನ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಪರ ಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳಿದ್ದು ಅವುಗಳನ್ನು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ

ರುವ ಬೀಜ (nucleus) ಎಂದೂ, ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೆಂದೂ ಗುರುತಿಸಲಾಗಿದೆ. ಬೀಜದಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿದ್ದೂ ಅದರ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಚಲನ, ಭ್ರಮಣಗಳಿಂದಲೇ, ವಸ್ತುವಿನ ರಾಸಾಯನಿಕ ಮತ್ತು ಕಾಂತೀಯ (chemical and magnetic) ಗುಣಗಳೂ ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ಲಕ್ಷಣಗಳೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಗುಣಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಶಕ್ತಿ, ಉಷ್ಣವಾಹಕ ಶಕ್ತಿ, ಮುಂತಾದ ಭೌತ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳನ್ನೂ ಕಾಣಬಹುದು. ಹೇಗೆ, ಎಲ್ಲಾದರೂ ಇರಲಿ, ಎಂತಾದರೂ ಇರಲಿ, ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (ಸ್ಥಿರ ಸ್ಥಿತಿ) ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳು ಮಾತ್ರ ಒಂದೇ ಅಭೇದ್ಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ಸಹಸ್ರಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನಿರ್ಧರಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ.

$m_e = 9 \cdot 1 \times 10^{-31}$ ಕಿ. ಗ್ರಾಂ.

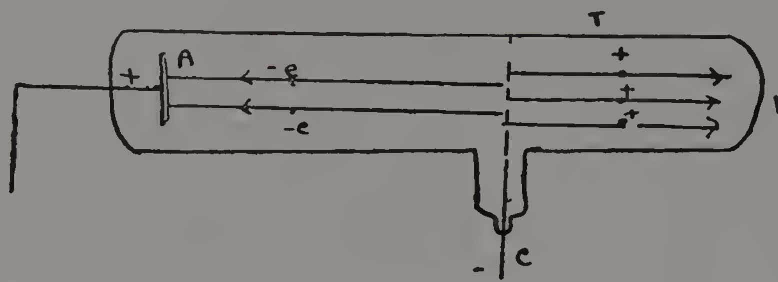
$e = 1 \cdot 6 \times 10^{-19}$ ಕೂಲಾಂಬ್.

4.9 ಧನಕಿರಣಗಳು (Positive Rays)

1886ರಲ್ಲಿ ಗೋಲ್ಡ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ನಿರ್ವಾತ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಉತ್ಸರ್ಜನ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡುವಾಗ ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ಸಂಭವವನ್ನು ಕಂಡನು. ಒಳಗಿನ ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವು 1 mm ಗಿಂತ ಕಡಿಮೆಯಾದಾಗ, ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಧ್ರುವದ ಹಿಂಭಾಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಜ್ಯೋತಿಯ ಝರಿ (stream of luminosity) ಯನ್ನು ಕಂಡನು. ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಧ್ರುವದ ಫಲಕವನ್ನು ಸಚ್ಛಿದ್ರ ಮಾಡಿದರೆ (perforated) ಈ ರಂಧ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಅದರ ಹಿಂದುಗಡೆ (ಅಂದರೆ ಆ್ಯನೋಡ್‌ಗೆ ವಿರೋಧ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ) ಒಂದು ರೀತಿಯ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಕಂಡು ಅವುಗಳಿಗೆ 'ಕಾಲುವೆ ಕಿರಣ'ಗಳೆಂದು (canal rays) ಹೆಸರಿಟ್ಟನು.

ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಗೊತ್ತಾದ ಮೇಲೆ, 1896ರಲ್ಲಿ ಥಾಂಸನ್ (ಜೆ.ಜೆ.) ಈ ಕಿರಣಗಳ ವಿಷಯವಾಗಿ ಸಂಶೋಧನೆ ನಡೆಸಿದನು. ಇವುಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಆ ಕಿರಣಗಳು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದಾಗಿಯೂ, ಅವುಗಳ $\frac{e}{M}$ (e = ಧನವಿದ್ಯುದಂಶ ; M = ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ) ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನಿರ್ಧರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂದೂ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು. ವಿದ್ಯುತ್–ಉತ್ಸರ್ಜನ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಮಾರ್ಪಡಿಸಿದರೆ, ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಕಾಣಬಹುದು (ಚಿತ್ರ 4.16).

T ಎಂಬುದೇ ನಿರ್ವಾತ ನಾಳಿಕೆ. ಇದರ ಒಂದು ಕಡೆಯಲ್ಲಿ A (anode) ಎಂಬ ಆ್ಯನೋಡ್ ಧ್ರುವವೂ. ಮಧ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ C ಎಂಬ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಧ್ರುವವೂ



ಚಿತ್ರ 4.16 ಧನಕಿರಣಗಳು

ಅಳವಡಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. C ಧ್ರುವದಲ್ಲಿ ರಂಧ್ರಗಳನ್ನು ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ನಾಳಿಕೆಯ ಮತ್ತೊಂದು ಕೊನೆಯ ಒಳಭಾಗದಲ್ಲಿ F ಎಂಬ ಪ್ರದೀಪ್ತಿತೆರೆಯು ಇರಬಹುದು. A, C ಗಳ ನಡುವೆ ಅತಿ ಪ್ರಬಲವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶದ ಧ್ರುವಗಳಿಗೆ (+, –) ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದರೆ, C ನಿಂದ A ಕಡೆಗೆ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶ ವನ್ನು ಹೊತ್ತು A ಧ್ರುವವನ್ನು ತಲುಪುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ C ಯ ಹಿಂಭಾಗದಲ್ಲಿ ರಂಧ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣ (positive rays) F ತೆರೆಯ ಕಡೆಗೆ ಸಂಚಾರಮಾಡಿ ಅದರ ಮೇಲೆ ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು (magnetic field) ಏರ್ಪಡಿಸಿದರೆ, ಕಿರಣಗಳು ಬಾಗುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯ ನಿಯಮಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಈ ಕಿರಣಗಳು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ನಿಶ್ಚಯಿಸಲ್ಪಡಬಹುದು.

ಈ ಕಿರಣಗಳು ಹೇಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆಂಬುದನ್ನು ಅಯನೀಕರಣದ ತತ್ತ್ವ ದಿಂದ ಸುಲಭವಾಗಿ ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಧ್ರುವದಿಂದ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತಾ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿರುವ ಅನಿಲದ ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿ, ಅವುಗಳಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು (–e) ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊತ್ತು ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಉಳಿಯುವ ಪರಿಶಿಷ್ಟ ಭಾಗವು (+e) ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಇದು ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯ (neutral) ದಂತೆ ವರ್ತಿಸು ತ್ತವೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಈ ಪರಿಶಿಷ್ಟಭಾಗದ ತೂಕ (M) ವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ (m) ತೂಕಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಅನಿಲದ ಪರಮಾಣುಗಳ ವಿಭಜನೆಯಿಂದ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ, ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಅಯಾನ್‌ಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಕಣಗಳು A ಕಡೆಗೆ ಆಕರ್ಷಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಉಳಿದ

ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಯಾನ್‌ಗಳು ಅದರಿಂದ ವಿಕರ್ಷಣೆ (repulsion) ಗೆ ಒಳಗಾಗುವುದರಿಂದ, C ಯಲ್ಲಿ ಏರ್ಪಟ್ಟಿರುವ ರಂಧ್ರಗಳ ಮೂಲಕ F ಕಡೆಗೆ ಚಲಿಸಲೇಬೇಕು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ತೂಕಗಳು (m) ಒಂದೇ ಆದರೂ, ವಿವಿಧ ಅನಿಲಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ತೂಕಗಳು (M) ಬೇರೆಬೇರೆಯಾಗಿರುವುದರಿಂದ. ಆ ಧನವಿದ್ಯುತ್ತಿನ ಅಯಾನ್‌ಗಳ $\frac{e}{M}$ ಮೌಲ್ಯಗಳು ಅನಿಲದ ಪರಮಾಣುತೂಕವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತವೆ.

ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ $\frac{e}{M}$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಜೆ. ಜೆ. ಥಾಮ್ಸನ್ ಅದೇ ವಿಧಾನವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ ಈ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳ $\frac{e}{m}$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದನು. ಇದನ್ನೇ ಮುಂದುವರೆಸಿ, ಆಸ್ಟನ್ (Aston) ಮತ್ತು ಬೈನ್‌ಬ್ರಿಡ್ಜ್ (Bainbridge) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದರು.

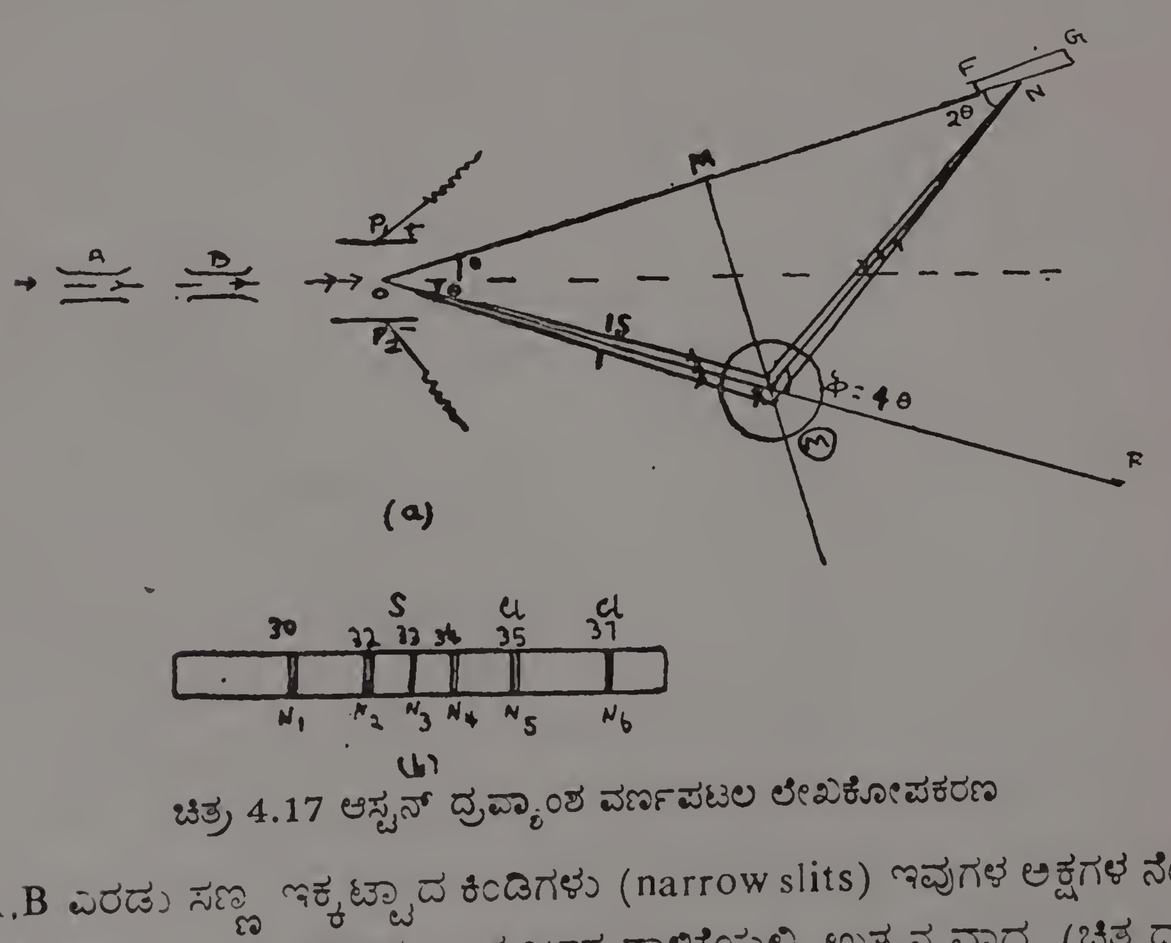
ಈಗ, ಐತಿಹಾಸಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಹೆಸರುವಾಸಿಯಾಗಿರುವ ಆಸ್ಟನ್ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

4.10 ಧನಕಿರಣಗಳ $\frac{e}{M}$ ಆಸ್ಟನ್ ವರ್ಣಪಟಲ ಲೇಖಕ ಉಪಕರಣ (Aston's Mass-spectrograph)

ಬರ್ಮಿಂಗ್‌ಹಾಮ್‌ನಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿ, ಕೇಂಬ್ರಿಜ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿ ಉತ್ತೀರ್ಣನಾದ ಬ್ರಿಟಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಆಸ್ಟನ್ (1877–1945) 1919 ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿಶೇಷ ಉಪಕರಣವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಥಾಂಸನ್ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ವಿಧಾನಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆಯೇ ನಿರ್ಮಿಸಲ್ಪಟ್ಟರೂ, ಆಸ್ಟನ್ ಉಪಕರಣವು ವಿಶಿಷ್ಟ ಗುಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಿತು. ಇದರಲ್ಲಿಯೂ, ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಮಾರ್ಗಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೂ, ಒಂದೊಂದು ಮೂಲವಸ್ತು (element) ವಿನಲ್ಲಿಯೂ ಇರುವ ಪರಮಾಣುವು ಮಿಶ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದನ್ನು ದೃಢಪಡಿಸಿದನು. ಅತಿ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಮತ್ತು ಹತ್ತಾರು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರ ಫಲವಾಗಿ ಅವನು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾದ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (isotopes) ಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಗಳಲ್ಲಿ ಭೇದವಿಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ.

ನಿಯಾನ್ (Ne) ಪರಮಾಣುವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ 20 ಮತ್ತು 22 ತೂಕಮಾನಗಳ ಎರಡು ಮಾದರಿಗಳು 9 : 1 ಅನುಪಾತದಲ್ಲಿ ಸಮ್ಮಿಶ್ರವಾಗಿವೆ ಯೆಂದು ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ತೂಕವು 20.2 ಎಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಹೀಗೆಯೇ ಕ್ಲೋರಿನ್ ಪರಮಾಣು ತೂಕವು 35.45 ಆಗಿರುವ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ 35,37 ತೂಕದ ಅಂಗಗಳು 4:1 ಅನುಪಾತದಲ್ಲಿ ಸಮ್ಮಿಶ್ರವಾಗಿವೆ. ಈ ಸಮ ಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಯಾವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಬೇರ್ಪಡಿಸಲೂ ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಅವುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಬೇಕಾದರೆ ಆಸ್ಟನ್ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟ ವಿಧಾನವೊಂದೇ ಮುಖ್ಯವಾದುದು. ಬಿಳಿಯ ಬೆಳಕನ್ನು ಅದರ ವಿವಿಧ ಬಣ್ಣಗಳ ಭಾಗಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ವರ್ಣಪಟಲ ಉಪಕರಣ (spectrograph) ವು ಉಪಯೋಗವಾಗು ವಂತೆಯೇ, ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿವಿಧ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಅವುಗಳ ತೂಕ (masses) ಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ಉಪಕರಣಕ್ಕೂ ಸಾದೃಶ್ಯದಿಂದ ಅದೇ ಹೆಸರನ್ನೇ ಇಡಲಾಗಿದೆ (mass-spectrograph). ಈ ಅತ್ಯಂತ ಮುಖ್ಯವಾದ ಸಂಶೋಧನೆ ಗಳಿಗಾಗಿ ಆಸ್ಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ 1922ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕವು ಲಭಿಸಿತು.

ಈಗ ಈ ಉಪಕರಣದ ವಿವಿಧ ಭಾಗಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 4.17 ರಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 4.17 ಆಸ್ಟನ್ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ವರ್ಣಪಟಲ ಲೇಖಕೋಪಕರಣ

A,B ಎರಡು ಸಣ್ಣ ಇಕ್ಕಟ್ಟಾದ ಕಿಂಡಿಗಳು (narrow slits) ಇವುಗಳ ಅಕ್ಷಗಳ ನೇರ ದಲ್ಲಿ ಬೇರೆ ಒಂದು ನಿರ್ವಾತ ಉತ್ಸರ್ಜನ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ (ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿಲ್ಲ) ಧನಕಿರಣಗಳು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಸಂಕುಚಿತ ಎಳೆಯಂತೆ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಈ

ಕಿರಣಗಳ ಸಮೂಹವು P_1, P_2 ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಸಮಾನಾಂತರ ಫಲಕಗಳ ನಡುವೆ ಹಾಯುತ್ತವೆ. P_1, P_2 ಗಳನ್ನು ಒಂದು ಬೃಹತ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶಕ್ಕೆ (ಸುಮಾರು 400 ವೋಲ್ಟ್) ಬಂಧಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತವೆ. P_1, P_2 ಗಳು +, – ಧ್ರುವಗಳಾಗಿದ್ದರೆ, ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕಣಗಳು OR ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಮಾರ್ಗಪಲ್ಲಟ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಕಣಗಳು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಕೋನ ($d\theta$) ಪ್ರಮಾಣದ ಚದರುವಿಕೆಯನ್ನು (dispersed) ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಕಣ ಸಮೂಹದಲ್ಲಿರುವ ವಿವಿಧ ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇ ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣ. ಹೀಗೆ ಅಪಸರಣ ಹೊಂದಿದ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವು (divergent beam) ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಕಿಂಡಿಯ (S) ಮೂಲಕ ಸೀಮಿತವಾಗಿ, M ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವು ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳ ನಡುವೆ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ದಿಕ್ಕು (direction) ಚಿತ್ರದ ತಲಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಇದರ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಕಣಗಳ ದಿಕ್ಚ್ಯುತಿಯು (deflection) ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಉಂಟಾದ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಗೆ ವಿರೋಧ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಇದೂ ಕೂಡ, ಕಣ ಸಮೂಹದ ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಯನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುವುದರ ಫಲವಾಗಿ, ಅಪಸರಣ ಹೊಂದಿದ್ದ ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳು ಮತ್ತು XN ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಏಕಾಗ್ರಮುಖವಾಗಿ ಚಲಿಸಿ, N ಎಂಬ ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಮತ್ತೆ ಸಂಗಮವಾಗುತ್ತವೆ.

ಆಸ್ಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ತವಾದ ಸೂತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ, ಈ ಕಣಗಳ ಚಲನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅಳತೆಗಳನ್ನು ಕ್ರಮಪಡಿಸಿದನು. ಅದರ ಪ್ರಕಾರ, ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ OXN ಒಂದು ಸಮಭುಜ ತ್ರಿಕೋಣವಾಗಿದ್ದು $OX = XN$ ಮತ್ತು $NOX = XNO = 2\theta$; $NXR = 4\theta = \phi$ XM ರೇಖೆಯು ON ಗೆ ಲಂಬವಾಗಿದ್ದರೆ, $OM = MN$.

ಕಣಗಳು N ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಗಮವಾದರೆ ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ FG ಎಂಬ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ಫಲಕ (photographic plate) ವನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿ, ಅದರ ಮೇಲೆ ಕಣಗಳು ಸಂಗಮವಾಗುವ ಬಿಂದುವನ್ನು ಗುರುತಿಸುವ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತು ಮಾಡಿದನು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣದ ವಿವಿಧ ಭಾಗಗಳ ಅಳತೆಗಳನ್ನು ತಿಳಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಅದರ ಸೂಕ್ಷ್ಮತ್ವವು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ.

ಧನಕಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆಮಾಡುವ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಥೋಡ್–ಆನೋಡ್‌ಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (P.D.)ವು ಸುಮಾರು 40,000 ವೋಲ್ಟ್–P_1, P_2

ಫಲಕಗಳ ಅಂತರವು 1.25 ಮಿ. ಮಿೀ., ಉದ್ದ 5 ಸೆಂ. ಮೀ., ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರ (ಸುಮಾರು) 400 ವೋಲ್ಟ್, M ನಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಕಾಂತ, ಕ್ಷೇತ್ರದ ಮೌಲ್ಯವು 16,000 ಗಾಸ್–(FG), ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಲಕದ ಉದ್ದ 15 ಸೆಂ. ಮೀ., ಅಗಲ 0.5 ಮಿ. ಮೀ., ಕಿರಣಗಳ ವಿಸ್ತರಣ $\theta = 2 \times 10^{-4}$ ರೇಡಿಯನ್. ಪೃಥಕ್ ಕರಣಶಕ್ತಿ (resolving power) = 600.

ಆಸ್ಟನ್ ಹಲವಾರು ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುಗಳ ಕಿರಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲನೆ ಮಾಡಿದನು. ಲೋಹಗಳು, ಅನಿಲಗಳು, Hg, Pb, Mo, ಮುಂತಾದ ಭಾರ ವಸ್ತುಗಳು ಮುಂತಾದುವುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾದುವು.

ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದಾಗ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಸ್ಪಷ್ಟ ಸಂಕುಚಿತ ರೇಖೆಗಳು ಚಿತ್ರ 4.17 (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದಂತೆ ಇದ್ದುವು. ಚಿತ್ರ 4.17 (a) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸುವಂತೆ MN ದೂರವನ್ನು ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ವಸ್ತುವಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ರೇಖೆಯನ್ನು ಗುರುತಿಸಿ, ಅದರ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಉಳಿದ ರೇಖೆಗಳ ಬಿಂದುಗಳಾದ N ಗೂ M ಗೂ ಇರುವ ದೂರಗಳನ್ನೂ ಅಳತೆ ಮೂಲಕ ನಿರ್ದೇಶಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಒಂದೊಂದು ಸಂಗಮಸ್ಥಾನವೂ (N) ಒಂದೇ ಪರಮಾಣುತೂಕ (M_1)ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣದ $\frac{e}{M_1}$ ಮೌಲ್ಯವನ್ನೂ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಎಷ್ಟು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಸ್ಥಾನಗಳು ಗುರುತಿಸಲ್ಪಡುವುದೋ (N_1, N_2,...) ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದರಲ್ಲಿಯೂ $\left(\frac{e}{M_1}\right)$ ಮೌಲ್ಯವು ಒಂದೇ ಆಗಿರಬೇಕು.

ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ Cl ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಎರಡು ಬಿಡಿ ರೇಖೆಗಳು ಕಂಡುಬಂದವು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ತೂಕಗಳು 35, 37 ಎಂದು ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ಹಾಗೆಯೇ, Ne ಗೆ Ne_{20}, Ne_{22} ಎಂಬ ಎರಡು ಬಿಂದುಗಳೂ, O ಗೆ O_{16}, O_{17}, O_{18} ಎಂಬ ಮೂರು ಸ್ಥಾನಗಳೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದವು.

ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, ಕ್ಲೋರಿನ್ ಎಂದು ನಾವು ತಿಳಿದಿರುವ 35.46 ಪರಮಾಣು ತೂಕದಲ್ಲಿ, 35, 37 ತೂಕಗಳ ಎರಡು ಬೇರೆ ಪರಮಾಣುಗಳು ಗೊತ್ತಾದ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ ಮಿಶ್ರವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಕೂಡ, ಆಯಾ ರೇಖೆಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಂದ ಆಸ್ಟನ್ ನಿರ್ಧರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಮೂಲಭೂತ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಈ ವಿಧವಾದ ಹಲವಾರು ಭಿನ್ನ ತೂಕದ ಪರಮಾಣುಗಳು ಮಿಶ್ರವಾಗಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ವಿವಿಧ ಪರಮಾಣುಗಳ ತೂಕಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿದ್ದು ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳು ಒಂದೇ ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಇವುಗಳಿಗೆ ಒಂದೇ

ಆಗಿದ್ದು, ಯಾವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದಲೂ ಅವುಗಳನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸ ಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೆಂದು (isotopes) ಕರೆಯ ಲಾಗಿದೆ. ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ (periodic table) $Cl_{35.45}$ ಗೆ ಒಂದೇ ಸ್ಥಾನ. ಆದರೆ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಅದರಲ್ಲಿ Cl_{35}, Cl_{37}, ಎಂಬ ಎರಡು ಸಮ ಸ್ಥಾನಗಳು ಮಿಶ್ರವಾಗಿವೆ.

$Ne_{20.2}$ನಲ್ಲಿ Ne_{20}, Ne_{22} ಗಳು 9:1 ಅನುಪಾತದಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿವೆ. ಒಂದು ಗಮನಾರ್ಹವಾದ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ, ಒಂದು ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕವು ಪೂರ್ಣಾಂಕವಾಗಿರದೆ ಇರುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣ ಅದರಲ್ಲಿ ಮಿಶ್ರವಾಗಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೇ. ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ತೂಕಗಳಾದರೂ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪೂರ್ಣಾಂಕ (integers) ಗಳಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತವೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಆಸ್ಟನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು O_{16} ಪರಮಾಣು ವನ್ನು ಆದರ್ಶಮಾನವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಉಳಿದವುಗಳ ತೂಕಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಿ ದನು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಜಲಜನಕವು ಕೂಡ $H_{1.008}$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಸಾಮಾನ್ಯ H ರಲ್ಲಿ H^1, H^2, H^3 ಎಂಬ ಮೂರು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಅಡಗಿರುವುದು ಈಗ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ರಚನೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿ, ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಪಾತ್ರವನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಿದೆ.

ಆಸ್ಟನ್ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ಕೆಲವು ನ್ಯೂನತೆಗಳನ್ನು ಸರಿಪಡಿಸಲು, ಬೆಯ್ನ್‌ಬ್ರಿಡ್ಜ್ (Bainbridge) ಉಪಕರಣದ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ಬದಲಾಯಿಸಿ ದನು. 1935 ರಲ್ಲಿ ನಿಯರ್ (Nier) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಪ್ರಯೋಗ ವಿಧಾನವನ್ನು ಉತ್ತಮಪಡಿಸಿದನು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುವ ಪ್ರಮಾಣ ಗಳು 100,000 ಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ 1 ರಷ್ಟು ಬದಲಾಯಿಸಿದರೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸುವ ಶಕ್ತಿ ಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದವು

4.11 ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆ

ಇದುವರೆವಿಗೂ ವಿವರಿಸಲಾಗಿರುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಪರ ಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹು ತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಹೀಗೆ ಸೂಚಿಸಬಹುದು :

(1) ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುಗಳ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಪ್ರತ್ಯೇಕ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

(2) ಮೊದಲನೆಯ ಅಂಗವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ದ್ರವ್ಯಾಂಶದಲ್ಲಿಯೂ ವಿದ್ಯುದಂಶ ದಲ್ಲಿಯೂ ಅಭೇದ್ಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ.

$m = 9.107 \times 10^{-31}$ ಕಿ. ಗ್ರಾಂ. (ಸ್ಥಿರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ)
$e = 1.6 \times 10^{-19}$ ಕೂಲಾಂಬ್

(3) ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರಬಹುದು. ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಪರ ಮಾಣುವಿನ ಉಳಿದ ಭಾಗವು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶ (+) ವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವು ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಈ ಪರಮಾಣುವಿನ ಉಳಿದ ಭಾಗ (ಇದೇ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣದಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ) ದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಧನವಿದ್ಯು ದಂಶ ಮಾನಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ Z= ಎಲೆ ಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯಾದರೆ, ಆ ಪರಮಾಣುವಿನ ಉಳಿದ ಭಾಗದಲ್ಲಿ Z ಧನವಿದ್ಯು ದಂಶಗಳು (+Ze) ಇರಬೇಕು. Z = ಪರಮಾಣುಸಂಖ್ಯೆ (atomic number) ಈ ವಿಷಯವು X — ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

(4) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತೂಕವು ಅತಿ ಕನಿಷ್ಠವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವೆಲ್ಲವೂ ಉಳಿದ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಭಾಗದಲ್ಲಿಯೇ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿರ ಬೇಕು. ಜಲಜನಕವನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಇದ್ದು, ಉಳಿದ ಪ್ರಮಾಣತೂಕವು M_H ಆದರೆ,

$M_H = 1.66 \times 10^{-27}$ ಕಿ. ಗ್ರಾಂ.
ಅಂದರೆ $M_H = 1835m$ (ಸುಮಾರು)

(5) ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳೆಲ್ಲವೂ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ಆ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಭಿನ್ನ ಭಿನ್ನ ಪರಮಾಣುತೂಕಗಳು ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಿಂದ ಮಿಶ್ರ ವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶಮಾನಗಳು (Ze) ಒಂದೇ ಆಗಿ ತೂಕಗಳಲ್ಲಿ (atomic weight) ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ.

(6) ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ತೂಕಗಳು ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಿಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇರುತ್ತವೆ.

1960ರಲ್ಲಿ ಒಟಾವಾದಲ್ಲಿ ಸೇರಿದ್ದ ಒಂದು ಅಂತರರಾಷ್ಟ್ರೀಯ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಗಳ ಸಭೆಯ ತೀರ್ಮಾನದ ಪ್ರಕಾರ, C^{12} (ಇಂಗಾಲ) ಅಂದರೆ 12.0000ತೂಕದ ಇಂಗಾಲದ ಪರುಮಾಣವಿನ ತೂಕವನ್ನೇ ಆದರ್ಶಮಾನವನ್ನಾಗಿ ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳ

ಲಾಯಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಉಳಿದ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ತೂಕಗಳನ್ನೂ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು.

ಇದರ ಪ್ರಕಾರ 1 ಆದರ್ಶ ಪರಮಾಣುತೂಕಮಾನ (standard unit of atomic mass) $= \frac{1}{12} C^{12}$ = 1a. m u.

ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು ತೂಕವು 1.0081456 a.m.u. ಆಗುತ್ತದೆ.

1 a.m.u. = 1.660×10^{-27} ಕಿ. ಗ್ರಾಂ. ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು ... 4-29

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯನ್ನು ತಿಳಿಸಲು ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಬೇಕು.

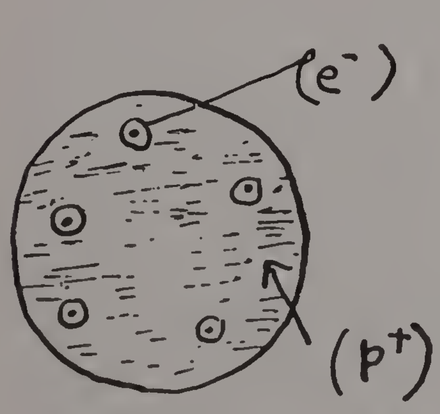
(i) ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ—(Z)-ಆವರ್ತ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ನಿರ್ದೇಶಿತ ಸ್ಥಾನ (ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ).

(ii) ತೂಕಸಂಖ್ಯೆ (M) = ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ ಪರಮಾಣುತೂಕದ ಅತಿ ಸಮೀಪದ ಪೂರ್ಣಾಂಕ ಸಂಖ್ಯೆ (Mass number).

(iii) ಪರಮಾಣುತೂಕ (A)–ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುವ ವಿವಿಧ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳ ಸರಾಸರಿ (average) ತೂಕ.

4.12 ಥಾಂಸನ್ ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿ (Thomson Atom)

ಈಗ ಮುಂದಿನ ಪ್ರಶ್ನೆ ಏನೆಂದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಎರಡು ಭಾಗಗಳು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ, ತೂಕದ ಪ್ರಮಾಣವು ಗಮನೀಯವಲ್ಲದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಭಾಗ ಮತ್ತು ಉಳಿದ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಪರಮಾಣುತೂಕದ ತೂಕವೆಲ್ಲವೂ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿರುವ ಭಾಗ–ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತಾಳಿ, ಸಮಗ್ರ ಪರಿಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ತಮ್ಮ ತಮ್ಮ ಪಾತ್ರಗಳನ್ನು ವಹಿಸುತ್ತವೆ...ಅಂದರೆ, ಇದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಮಾದರಿಯ ರಚನೆಯ ಕಲ್ಪನೆ. ಈ ಕಲ್ಪನೆಯಲ್ಲಿ ಅಗ್ರಸ್ಥಾನವು ಜೆ.ಜೆ. ಥಾಂಸನ್‌ಗೆ ಸಲ್ಲಬೇಕು. ಅವನ ಕಲ್ಪನೆಯಲ್ಲಿ ಕೂಲಾಂಬ್ ನಿಯಮದ ಆಧಾರವು ಇದ್ದಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ಲಂ-ಕಡುಬು ಪರಮಾಣು (Plum pudding atom) ಮಾದರಿ ಎಂದು ಹೆಸರಿಡಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಇಡೀ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವು ಸಮರೂಪದಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿ ಸುಮಾರು 10^{-8} ಸೆಂ.ಮೀ. ವ್ಯಾಸದ ಗೋಳಾಕೃತಿ. ಇದರೊಳಗೆ ಸಣ್ಣ ಸಣ್ಣ ಕಣಗಳಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ (shells) ಹುದುಗಿಸಿದೆ. ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ (4.18)-



ಚಿತ್ರ 4.18 ಥಾಂಸನ್ ಆಕೃತಿ

ಭಾಗಗಳು (—e) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಾದರೆ, ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ಉಳಿದ ಭಾಗವು P (+) ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ.

X - ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಒಟ್ಟು ಪರಮಾಣು ತೂಕಕ್ಕೂ ನೇರವಾದ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದನು. ಅಂದರೆ, ಪರಮಾಣು ತೂಕವು ಹೆಚ್ಚುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯೂ ಅದರಂತೆಯೇ ಕ್ರಮವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚುತ್ತ ಹೋಗಬೇಕು.

ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಲು, ಒಂದು ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನ ಸ್ಥಿರತ್ವ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಮಾಡಿದನು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು, ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ಕೇಂದ್ರ ದಲ್ಲಿರಬೇಕು. –e ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ಕೇಂದ್ರದ ಇಕ್ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ದೂರದಲ್ಲಿರಬೇಕು. ಹೀಗೆ 1 ರಿಂದ ಹತ್ತಾರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುತ್ತ ಹೋದನು.

ಈ ಮಾದರಿಯ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಜಲಜನಕ ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗೆ (spectral line) ಒಂದು ಅರ್ಥವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಕಲ್ಪಿಸಿದನು. ಕೇಂದ್ರದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸ್ವಸ್ಥಾನದ ಎರಡುಕಡೆಗಳಲ್ಲಿ ಆಂದೋಲನಗಳನ್ನು ಮಾಡು ವಂತೆಯೂ, ಈ ರೀತಿಯ ಚಲನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣವು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಕಿರಣ ಮಾಡಬೇಕೆಂದೂ ತರ್ಕಮಾಡಿದನು. ಅವನ ಗಣಿತದ ಪ್ರಕಾರ, ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣ ಪಟಲರೇಖೆಯ ತರಂಗ ದೂರವನ್ನು 1400 A° ಎಂದು ಗೊತ್ತುಮಾಡಿದನು. ಇಂಥ ಒಂದು ರೇಖೆಯು ಇರುವುದರಿಂದ ತನ್ನ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ತೋರಿಸಿದನು.

ಈ ಮಾದರಿಯ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕು. (1) ಪರಮಾಣುವಿನ ಸ್ಥಿರತ್ವದ ಅವಶ್ಯಕತೆ (stability). (2) ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುವಿಕೆ.

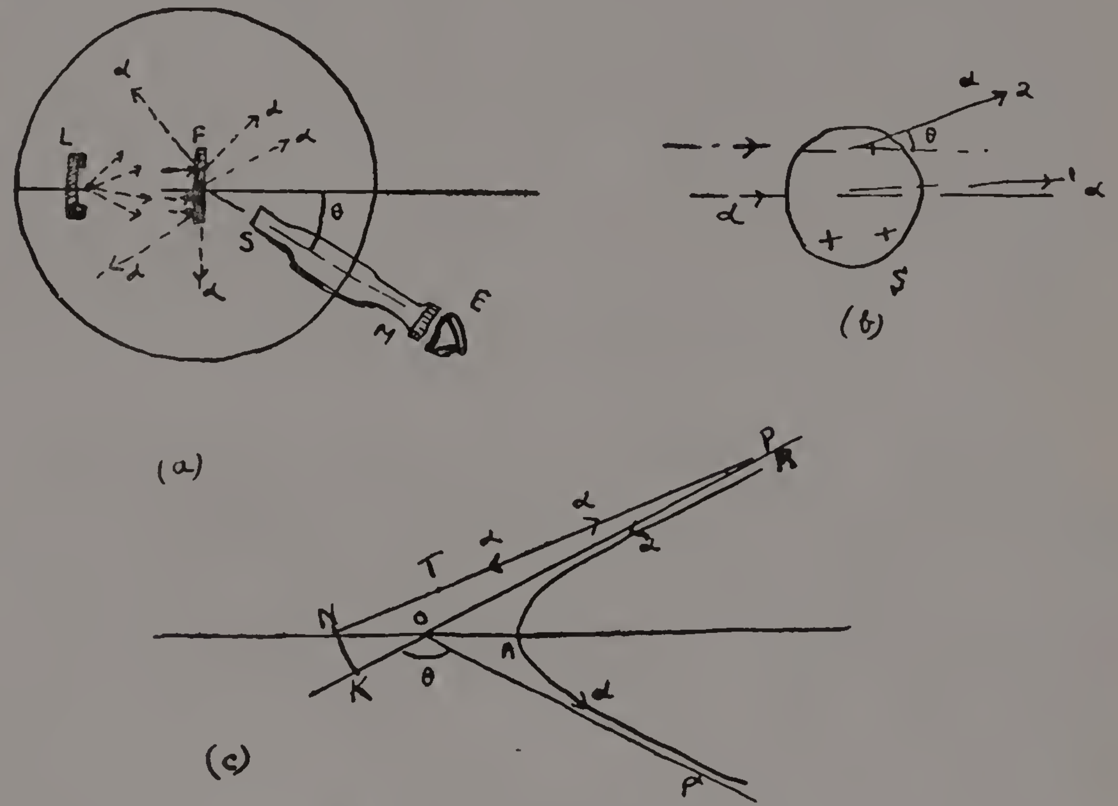
ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ರೇಖೆಗಳು ಇರು ವುದರಿಂದಲೂ, ಇನ್ನೂ ಇತರ ಅಂಶಗಳ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಥಾಂಸನ್ ಮಾದರಿಯು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ಕಂಡುಬರಲಿಲ್ಲ. ಅದನ್ನು ಕೈಬಿಡಬೇಕಾದ ಪ್ರಸಂಗವು ಒದಗಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಮುಖ್ಯ ಕಾರಣವು ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿದ ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ಪ್ರಯೋಗ. ಚಾರಿತ್ರಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಯೋಗವು ಬಹಳ ಗಮನಾರ್ಹವಾದುದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು.

4.13 ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್‌ನ ಬೀಜಾತ್ಮಕ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿ (The Rutherford Nuclear Atom Model)

1911 ರಲ್ಲಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ (1871–1937) ಮಾಡಿದ ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ (radioactive) ಒಂದು ಮೂಲ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ಅತಿ ತೆಳುವಾದ ಲೋಹದ ಪರೆ (metallic film) ಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸುವುದರ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಕೂಲಂಕಷವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಲಾಯಿತು. ಈ ಕಿರಣಗಳು ಲೋಹದ ಪರೆಯಿಂದ ಚದರಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಗಳನ್ನು (deflections) ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಈ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಗಳ ಕೋನ ಪ್ರಮಾಣವು (angular deflections) ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರದಿದ್ದರೂ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಈ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಗಳು ಸುಮಾರು 150° ಅಥವಾ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಇರುವುದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಈ ದೊಡ್ಡ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ α-ಕಿರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳು ಇರುವುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಅರ್ಥವನ್ನು ಥಾಂಸನ್ ಮಾದರಿಯ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯತ್ನಪಟ್ಟು ವಿಫಲನಾದನು. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಆ ಮಾದರಿಯ ಪ್ರಕಾರ, ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳು 30° ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲ. 30° ಗೂ ಕೂಡ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಸುಮಾರು 10^{-13} ಆಗಿರಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ (150° ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ) ದಿಕ್‌ಪಲ್ಲಟಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡುವ ಪ್ರಶ್ನೆಯೇ ಇಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ರಥರ್‌-ಫರ್ಡ್ ಆ ಮಾದರಿಯನ್ನೇ ತ್ಯಜಿಸಿ, ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿ ಧೈರ್ಯವಾಗಿ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿ, ಅದರ ಪ್ರಕಾರ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮನ್ವಯವನ್ನು ಕಂಡನು. ಈ ನವೀನ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಭಾಗವು ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಸಮರೂಪವಾಗಿ ಆವರಿಸಿರುವ ಗೋಲಾಕೃತಿಯಾಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವೇ ಇಲ್ಲ. ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿಯಾಗಿ, 'ಪರಮಾಣುವಿನ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಅದರಲ್ಲಿಯೇ ಎಲ್ಲ ತೂಕವೂ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿರುವ ಭಾಗದ ಅತಿ ಸಂಕುಚಿತ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜವೆಂದು (nucleus) ಕರೆಯಬಹುದು. ಈ ಬೀಜದ ಗಾತ್ರವು ಸಮಾರು 10^{-14} ಮೀಟರ್ ವ್ಯಾಸವಿರಬಹುದು. ಈ ಬೀಜವನ್ನು ಕೇಂದ್ರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಒಂದು ವರ್ತುಲ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಕೇಂದ್ರಕ್ಕೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೂ ಇರುವ ದೂರವು ಸುಮಾರು 10^{-10} ಮೀಟರ್. ಅಂದರೆ, ಇದನ್ನೇ (10^{-10} ಮೀಟರ್) ಪರಮಾಣುವಿನ

ತ್ರಿಜ್ಯವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಇಡೀ ತೂಕವೂ, ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವು ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿರುವ ಪ್ರದೇಶದ ಗಾತ್ರವು (volume) ಪರಮಾಣುವಿನ ಗಾತ್ರದ ಸುಮಾರು 10^{-12} ಭಾಗ ಮಾತ್ರ. ಅಂದರೆ 10^{12} ಗಾತ್ರ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ 1 ಗಾತ್ರವನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ ಉಳಿದ ಭಾಗವೆಲ್ಲವೂ ಶೂನ್ಯವೆಂದು ಅರ್ಥ ಬರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿದ ಬೀಜಾತ್ಮಕ ರೂಪದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಮಾದರಿ. ಈಗ ಇದರ ವಿವರಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಚಿತ್ರ (4.19).



ಚಿತ್ರ 4.19 ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗ

R ಎಂಬುದು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವಸ್ತುವು (ರೇಡಾನ್). ಇದನ್ನು L ಎಂಬ ಸೀಸದ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಇಟ್ಟು ಅದರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿರುವ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ರಂಧ್ರದ ಮೂಲಕ α ಕಿರಣಗಳು ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ F ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ತೆಳುವಾದ ಚಿನ್ನದ ಪರೆ ಇದೆ. ಈ ಪರೆಯಿಂದ ಚದರಿಸಲ್ಪಟ್ಟ α-ಕಿರಣಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಪಲ್ಲಟಗಳನ್ನು θ ಎಂದು ಗುರುತಿಸಿದರೆ, ಇದರ ಪ್ರಮಾಣಗಳು 0° ನಿಂದ ಹಿಡಿದು ಸುಮಾರು 150° ವರೆಗೆ ಇರುವುದು ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವನ್ನು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. OX_1, OX_2 ನೇರಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಗಳು 150° ಆಗಿದ್ದು, ಈ ನೇರದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ, ಅಂದರೆ, F ಮುಂಭಾಗದಿಂದಲೇ ವಾಪಸಾಗುವ ಕಿರಣಗಳನ್ನು M ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದ ಮೂಲಕ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ

ಪ್ರಕಾರ M ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕವು $\theta = 30°$ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ S ಎಂದು ಗುರುತಿಸಿರುವುದು ಪ್ರದೀಪ್ತಿ ತೆರೆ (fluorescent screen). ಒಂದೊಂದು a ಕಿರಣವೂ ಇದರ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದಾಗ, ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಜ್ಯೋತಿಯ ಸ್ಫುರಣವನ್ನು (flash or scintillation) ವೀಕ್ಷಿಸಬಹುದು. ಹೀಗೆಯೇ ಕೆಲವು ನಿಮಿಷಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ಒಟ್ಟು ಸ್ಫುರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಎಣಿಸಿದರೆ, ಅಷ್ಟು a ಕಿರಣಗಳು ಘರ್ಷಣೆಯಾಗಿದೆ ಎಂದು ಅರ್ಥ ಬರುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಸೂಕ್ಷ್ಮ ದರ್ಶಕವನ್ನು ವಿವಿಧ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ($\theta = 10°, 20°, 30°...$) ತಿರುಗಿಸುತ್ತಾ ಒಂದೊಂದು ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ಒಂದು ನಿಮಿಷದಲ್ಲಿ ಎಷ್ಟು ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ಎಣಿಸ ಲಾಗುತ್ತದೆಯೋ ಅದನ್ನು ಗುರ್ತು ಮಾಡಬೇಕು. ನಂತರ, ಈ ಸಂಖ್ಯೆ (N) ಗೂ θ ಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು. ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಈ ಸಂಬಂಧ ವನ್ನು ಸೂತ್ರ ರೂಪದಲ್ಲಿ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನಿರೂಪಿಸಿ, ಅದಕ್ಕೂ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೂ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಾಮ್ಯತೆಯನ್ನು ಕಂಡನು. ಹಲವಾರು ಲೋಹಗಳ ಪರೆಗಳು ವಿವಿಧ ದಪ್ಪ (thicknesses) ಗಳಲ್ಲಿ ಇದ್ದಾಗ, N-θ ಗಳ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆ ಮಾಡಲಾಯಿತು. ನಂತರ ಇವನ ಶಿಷ್ಯರಾದ ಗೈಗರ್ ಮತ್ತು ಮಾರ್ಸ್‌ಡನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ತಮ್ಮ ಗುರುವಿನ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಿದರು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ಥಾಂಸನ್ ಮಾದರಿಯ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ ಚಿತ್ರ 4.19 (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಅರ್ಥವು ಬರುತ್ತದೆ. S ಎಂಬುದು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಸಮ ರೂಪ ಹಂಚಿಕೆಯ ಗೋಲಾಕೃತಿ. ಇದರ ಮೂಲಕ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶ (2e) ಹೊಂದಿರುವ a–ಕಣಗಳು ಹಾಯುವಾಗ, ಅವುಗಳ ಗಮನ ಮಾರ್ಗವು ಗೋಲಾಕೃತಿಯ ಕೇಂದ್ರ O ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿದ್ದರೆ, ಅತ್ಯಂತ ಕಡಮೆ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿ (θ) ವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು 1 ಕಿರಣವು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಕೇಂದ್ರಕ್ಕೆ ದೂರವಿದ್ದಷ್ಟೂ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು, ಗೊತ್ತಾದ ನಿಯಮ ಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಹೆಚ್ಚು ಇರಬೇಕು. ಅತಿ ದೂರದಲ್ಲಿದ್ದಾಗ, 2 ಕಿರಣವು ಸುಮಾರು $\theta = 30°$ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದು. N_0 ಎಂಬುದು ಒಟ್ಟು ಕಿರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯಾದರೆ, $\theta = 30°$ ನಲ್ಲಿ ಚದರಲ್ಪಡುವ ಕಿರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು N ಆಗಿದ್ದರೆ,

$$\frac{N}{N_0} = 10^{-13}$$

ಇದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ θ ಗಳ ನೇರದಲ್ಲಿ ಯಾವ ಕಿರಣ ಗಳೂ ಇರುವಂತೆಯೇ ಇಲ್ಲ. ಆದರೆ, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ಲಾಟಿನಂ ಲೋಹದ ಪರೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದಾಗ, 90° ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ,

$$\frac{N}{N_0}=\frac{1}{8000}$$ ಇದ್ದಿತು.

ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ $\theta = 150°$ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿಯೂ ಕೂಡ, a – ಕಿರಣಗಳು ಅಲ್ಪ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿಯಾದರೂ, ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದುವು. ಹೀಗಾಗಿ, ಥಾಂಸನ್ ಮಾದರಿಯು ಈ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ವಿರೋಧವಾದ್ದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಕೈಬಿಡ ಬೇಕಾಯಿತು.

ಈಗ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿದ ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಯ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಹೀಗೆ ಇದ್ದುವು.

(i) a–ಕಿರಣಗಳಿಗೂ ವಸ್ತುವಿನ ಪದರದ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೂ, ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ (classical) ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಎರಡು ಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು.

(ii) ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶ ಎಲ್ಲವೂ N ಎಂಬ ಒಂದು ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗಿದೆ. ಈ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಕೂಲಾಂಬ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಲವು ಸಕ್ರಿಯವಾಗುವ ಒಂದು ಕೇಂದ್ರ ಬಿಂದುವಿನಂತೆ ಗಣಿಸಬಹುದು. a ಕಿರಣವೂ, ಈ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕೇಂದ್ರವೂ ಎರಡು ಬಿಂದುಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿರುವ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳೆಂದು ತಿಳಿಯುಬಹುದು.

(iii) a ಕಿರಣಕ್ಕೂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಕ್ಕೂ ನಡೆಯುವ ಘರ್ಷಣೆಗಳಲ್ಲಿ, ಕೇಂದ್ರದ ತೂಕವು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು ಅದು ಸ್ಥಿರವಾಗಿರುವಂತೆಯೇ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಈ ಕಲ್ಪನೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದರೆ, ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೂ ಫಲಿತಾಂಶವನ್ನೂ ಚಿತ್ರ 4.19 (c)ಯನ್ನೂ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

N ಎಂಬುದೇ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಕೇಂದ್ರ ಬಿಂದು. ಇದಕ್ಕೆ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರದಲ್ಲಿ (P) a ಕಿರಣವು N ಬೀಜವನ್ನು ವೇಗವಾಗಿ ಸಮೀಪಿಸುತ್ತಿದ್ದರೆ, ಇದರ ಗಮನ ಮಾರ್ಗವನ್ನು PO ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು. N ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶವು (+Ze) ಆಗಿದ್ದು, a ಕಿರಣವು (+2e) ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪರಸ್ಪರ ವಿಕರ್ಷಕ ಬಲಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, a ಕಿರಣದ ಮಾರ್ಗವು ನೇರವಾಗಿರದೆ PAP^1 ಎಂಬ ಅತಿ ಪರ ವಲಯ (hyperbola) ರೇಖೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಈ ಅತಿ ಪರವಲಯಕ್ಕೆ N ಎಂಬುದು ಒಂದು ಸಂಗಮಬಿಂದುವಿನಂತೆಯೂ, PO, Po′ ಗಳು ಸ್ಪರ್ಶರೇಖೆ (asymptotes) ಗಳಂತೆಯೂ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, PO, OP′ ಗಳು ಪೂರ್ವ ಮತ್ತು ಅಂತಿಮ ನೇರಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಬೇಕು. PO ಗೆ, NK ಲಂಬವಾಗಿದ್ದರೆ, NK = p ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

KOP′ $=\theta,=$ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಯ ಪ್ರಮಾಣ. α ಕಿರಣವು ನೇರವಾಗಿ PN ನೇರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಿದರೆ, ಅದು N ಬಿಂದುವಿಗೆ ಅತಿಸಮೀಪವಾದ T ಬಿಂದುವರೆವಿಗೆ ಹೋಗಿ ಅಲ್ಲಿಂದ ವಾಪಸಾಗಬೇಕು. ಇದು ವಿಕರ್ಷಣ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರವಿರುತ್ತದೆ. ಆ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ $p=O$ ಆಗಿ, $\theta=180^\circ$ ಆಗುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಈ ಗಣಿತದ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಮುಂದುವರೆಸಿ, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್, ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಸೂತ್ರವನ್ನು ರೂಪಿಸಿದನು.

$$N = \frac{Q\cdot n\cdot t\cdot(Ze)^2\cdot e^2}{r^2\cdot m^2\cdot v_o^4\cdot \mathrm{Sin}^4\frac{\theta}{2}}$$

ಇಲ್ಲಿ θ ದಿಕ್‌ಚ್ಯುತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ, 1 ಚದರ ಸೆಂ. ಮೀ. ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರದೀಪ್ತಿ ತೆರೆಯಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವ α ಕಿರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ $=$ N.

n $=$ ಚದುರಿಸುವ ಪರೆಯ ಒಂದು cc. ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ.

Q $=$ ಈ ಪರೆಯ 1 ಚ. ಸೆಂ. ಮೀ.ನ ಮೇಲೆ ಆಪಾತವಾಗುವ α ಕಿರಣಗಳ ಒಟ್ಟು ಸಂಖ್ಯೆ.

t $=$ ಪರೆಯ ದಪ್ಪ.

r $=$ ಪರೆಗೂ ಪ್ರದೀಪ್ತ ತೆರೆಯಮೇಲೆ ಬೀಳುವ ಬಿಂದುವಿಗೂ ಇರುವ ದೂರ.

m $=\alpha$ ಕಿರಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮತ್ತು $v_o=$ ಅದರ ಚಲನವೇಗ.

$\theta=$ ಕಿರಣಗಳು ಚದರವಾಗುವ ನೇರ (ಅಂದರೆ ವೀಕ್ಷಣೆಯ ದಿಕ್ಕು). ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಮುಖ್ಯ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ,

(i) $N \alpha t$– ಪದರದ ದಪ್ಪವೂ ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆ, N ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಬೇಕು.

(ii) $N \alpha \frac{1}{(m\ v_o^2)^2}$; α ಕಿರಣದ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯ ವರ್ಗಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿಲೋಮವಾಗಿ N ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕು.

(iii) $N \alpha (Ze)^2$; ಚದುರಿಸುವ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಧನಾಂಶದ ವರ್ಗಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ N ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತದೆ.

(d) $N \alpha \dfrac{1}{\sin^4 \dfrac{\theta}{2}}$ θ ಪ್ರಮಾಣವು ಕಡಮೆಯಾದಂತೆಲ್ಲ N ಹೆಚ್ಚು ಆಗುವ ರೀತಿಯನ್ನು ಇದು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ.

ಈ ಸೂತ್ರದ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಆತನ ಶಿಷ್ಯರಾದ ಗೈಗರ್ ಮಾರ್ಸ್‌ಡನ್‌ಗಳು 1913 ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಸಮರ್ಥಿಸಿದುವು.

ಹೀಗಾಗಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಧೈರ್ಯವಾಗಿ ಮಾಡಿದ ಕಲ್ಪನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಥಾಂಸನ್ ಮಾದರಿಯನ್ನು ತ್ಯಜಿಸಿ, ಬೀಜಾತ್ಮಕ ಮಾದರಿಯ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯನ್ನೇ ಎತ್ತಿ ಹಿಡಿಯಬೇಕಾಯಿತು.

ಇದೇ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನೇ ಮಾಡಿದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಇತರ ಲಕ್ಷಣಗಳ ಕಡೆ ಗಮನವನ್ನು ಇಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಮೊದಲನೆಯದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಸ್ಥಾನ ಮತ್ತು ಚಲನಗಳ ನಿರ್ದೇಶನ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶಕ್ಕೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೂ ನಡುವೆ ಕೂಲಾಂಬ್ ನಿಯಮದ ರೀತಿಯ ಕೇವಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಲಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದರೆ ಮಾತ್ರ ಪರಮಾಣುವು ಸ್ಥಿರವಾಗಿರಲಾರದು. ಉದಾಹರಣೆಗೆ, ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರುವ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯು ಹೇಗೆ ಇರಬೇಕು ಎಂದು ತರ್ಕಮಾಡಿದರೆ, ಅವುಗಳನ್ನು ಕೇಂದ್ರದ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ r ದೂರದಲ್ಲಿ ಇಟ್ಟರೆ, ಬೀಜದಲ್ಲಿರುವ $(+2e)$ ವಿದ್ಯುದಂಶಕ್ಕೂ, ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (e) ಗೂ ಇರುವ ಬಲವು $\dfrac{2e^2}{r^2} = F_1$ 2 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ನಡುವಣ ವಿಕರ್ಷಕ ಬಲವು $\dfrac{e^2}{4r^2} = F_2$ ಅಂದರೆ (ಆಕರ್ಷಕ ಬಲ) $F_1 = 8\ F_2$ (F_2 = ವಿಕರ್ಷಕಬಲ) ಆಗಿ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಸ್ಥಿರತೆಗೆ ಧಕ್ಕೆ ಬಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಬೀಳಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಪರಮಾಣುವು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಸ್ಥಿರವಾಗಿರಬೇಕಾಗಿರವುದರಿಂದ, ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಸಂಭವವಿರುವ ಹಾಗೆಯೇ ಇಲ್ಲ.

ಈ ನ್ಯೂನತೆಯನ್ನು ಸರಿಪಡಿಸಲು, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮತ್ತೊಂದು ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿದನು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಬೀಜವನ್ನೇ ಕೇಂದ್ರವನ್ನಾಗಿ ಹೊಂದಿ ಅದರ ಸುತ್ತ ಒಂದು ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತಬೇಕು. ಒಂದು ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಇದು ಸಮಂಜಸವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದರೂ, ಇದರಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ನ್ಯೂನತೆಯು ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು-ಇದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುವುದರ ಪರಿಣಾಮ.

ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ವರ್ತುಲ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವಾಗ ಅದು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗುವುದರಿಂದ, ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿ ವ್ರಯ ಮಾಡುತ್ತಲೇ ಇರಬೇಕು. ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದಲೇ ಒದಗಿಸಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಪಥವು ತ್ರಿಜ್ಯದಲ್ಲಿ ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತಾ ಹೋಗಿ, ಒಂದು ಸುರಳಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಸಂಕುಚಿಸುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗಿ, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಬಿದ್ದು ಲೀನವಾಗಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದ, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿದ ಕಲ್ಪನೆಯು ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಭದ್ರತೆಯನ್ನು ಕೊಡುವುದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಅದರ ಕ್ಷಯಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದು ಒಂದು ಗಂಭೀರ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಿತು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಂತೆ ಭಾವಿಸಿದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಕೈಬಿಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅನ್ವಯ ಮಾಡಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಸುತ್ತುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ. ಈ ಸಂದಿಗ್ಧತೆಯು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಸವಾಲಿನಂತೆ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಇದು ಹೇಗೆ ಬಗೆಹರಿಯಿತು ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಸುವಂತೆ ಮತ್ತೊಂದು ಪ್ರಮುಖವಾದ ಘಟ್ಟವನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತೇವೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣಪುರುಷನಂತೆ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಡೆನ್ಮಾರ್ಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಬೋರ್ (Bohr) ಉದ್ಭವಿಸಿದನು. ಈತನು 1913 ರಲ್ಲಿ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಕ್ರಾಂತಿಕರವಾದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪರಿಹರಿಸಿದನು. ಬೋರ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿದ್ದರೂ, ಅದು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಕಿರಣ ಮಾಡಬೇಕಾಗಿಲ್ಲ. ಈ ನವೀನ ಪ್ರಮೇಯದ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಚಲನವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಇರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಕೈಬಿಟ್ಟಂತೆಯೇ ಆಯಿತು. ಇದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಯಿತು ಮತ್ತು ಬೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಪ್ರಚಂಡ ರೀತಿಯ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರೆಯಿತು. ಹೀಗಾಗಿ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಮತ್ತೊಂದು ಪೆಟ್ಟುಬಿದ್ದು, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಮತ್ತೊಂದು ವಿಧದಲ್ಲಿ ಯಶಸ್ಸು ಲಭಿಸುವಂತಾಯಿತು.

4.14 ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ವಿಫಲತೆ ಮತ್ತು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಅವಶ್ಯಕತೆ

ಇದುವರೆವಿಗೂ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ, ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತವೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಪ್ರವರ್ಧಮಾನವಾಗಿದ್ದ ಕೆಲವು ಮೂಲ

ಭೂತ ತತ್ತ್ವಗಳಿಗೆ ಹೊಸ ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಕಂಟಕ ಪ್ರಾಯವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದುವು. ಅವುಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ತಲೆಯೆತ್ತಿ ತನ್ನ ಪತಾಕೆಯನ್ನು ಏರಿಸುತ್ತ ಬಂದಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಈ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ರೂಪರೇಖೆಗಳು ಮತ್ತು ಅದಕ್ಕೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ದೊರೆತ ಮನ್ನಣೆ—ಇವುಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಒಂದು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಅಧ್ಯಾಯವೇ ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅದಕ್ಕೆ ಮುನ್ನ, ಅದರಿಂದ ಬಗೆಹರಿಯಬೇಕಾದ ಮೂಲ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಅವುಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ.

(1) ಈಗಾಗಲೇ ಸ್ಪಷ್ಟಪಡಿಸಲಾಗಿರುವಂತೆ, ಉಷ್ಣವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ವಿಷಯಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವವು ವಿಫಲವಾಯಿತು. ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥಗಳಿಂದ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಉಷ್ಣದ ಹಂಚಿಕೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ತೊಡಕು ಸಂಭವಿಸಿತು. ಇದನು ಸಮಂಜಸವಾಗಿ ಸಮರ್ಥಿಸಲು ಪ್ಲಾಂಕ್‌ವಿಜ್ಞಾನಿ 1900 ರಲ್ಲಿ ತನ್ನ ನವೀನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ವಿಶದಪಡಿಸಬೇಕು.

(2) ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಪ್ರಬಲವಾದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಂಡಿತು. ಆದರೆ, ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲಾದ ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಅಸಮರ್ಥವಾಯಿತು. ಆ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ 1905 ರಲ್ಲಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಲು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಬೇಕೆಂದು ತೋರಿಸಿದನು. ಅಂದರೆ, ಇದರಲ್ಲಿ ಬೆಳಕು ಶಕ್ತಿಕಣ ಅಥವಾ ಫೋಟಾನ್‌ನಂತೆ ವರ್ತಿಸಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ತರಂಗ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಕೈಬಿಡಬೇಕಾಯಿತು.

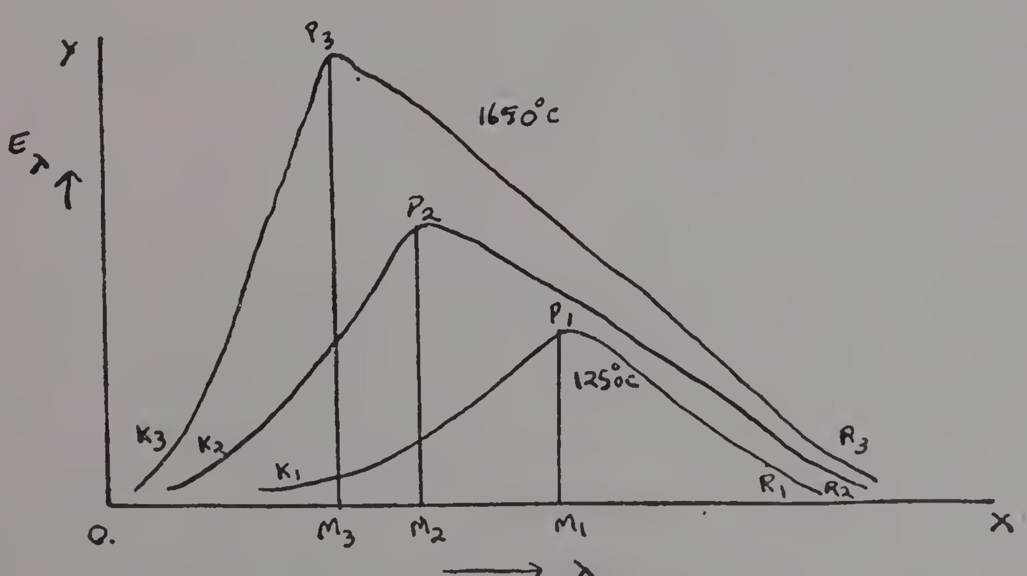
(3) ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ರಚನೆ ಇದೆ ಎಂದು ತಿಳಿದ ಮೇಲೆ ಅದರಲ್ಲಿ ಬೀಜಾತ್ಮಕ ರೂಪವಾದ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕೇಂದ್ರವೂ, ಅದಕ್ಕಿಂತ ಬಹಳ ದೂರದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ನಿರ್ದಿಷ್ಟಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತಬೇಕೆಂದು ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ತೋರಿಸಿದನು. ಆದರೆ, ಈ ಕಲ್ಪನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ದೋಷವೇನೆಂದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಸುತ್ತುತ್ತ ಇರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದಿಂದ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನವಾಗಿ ಶಕ್ತಿವಿಕಿರಣವಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಭದ್ರತೆಯೇ ಕುಸಿದು ಬೀಳಬೇಕು. ಇದು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲು ಬ್ಹೋರ್‌ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಶರಣು ಹೊಕ್ಕನು.

5. ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ

5.1 ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥಗಳ ಶಕ್ತಿ ವಿಕಿರಣದ ವರ್ಣಪಟದಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯ ನಿಯಮಗಳು

ಈಗಾಗಲೇ ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಿರುವಂತೆ ಹತ್ತೊಂಭತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಅಂತ್ಯದ ವೇಳೆಗೆ, ಸಂಪೂರ್ಣ ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥಗಳು ಹೆಚ್ಚು ತಾಪಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗುವಾಗ ಅವುಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು ವಿವಿಧ ತರಂಗಾಂತರಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗುತ್ತವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಸಂಶೋಧನೆ ಮಾಡುವುದಕ್ಕಾಗಿ, ಲಮ್ಮರ್ ಮತ್ತು ಪ್ರಿಂಗ್ಷೀಮ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು 1893–97 ರ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದರು.

ಒಂದು ಗೋಲಾಕಾರದ ಟೊಳ್ಳು ಆವರಣ (ಲೋಹದ ಗುಂಡು) ದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ರಂಧ್ರವನ್ನು ಕೊರೆದು ಆ ವಸ್ತುವನ್ನು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಿಗೆ ಅಂದರೆ 1000°C – 1650°C ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಏರಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಾಖರೂಪದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಫ್ಲೂರ್‌ಸ್ಪಾರ್ (fluorspar) ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ರಚಿಸಿದ ಒಂದು ಮುಪ್ಪಟ್ಟೆ (prism) ಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿ, ಅದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವಿವಿಧ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಉಷ್ಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒಂದು ಬೋಲಾಮಿಟರ್ (bolometer) ಉಪಕರಣದಿಂದ ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಒಂದೊಂದು ತರಂಗಾಂತರ (λ) ಕ್ಕೂ ಅದರಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ $\left(E_\lambda \right)$ ಇರುವ



ಚಿತ್ರ 5.1 ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥಗಳ ವಿಕಿರಣದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯ ಹಂಚಿಕೆ

ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತಿಳಿಸಲು ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಎಳೆಯಲಾಯಿತು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡುವುದರ ಮೂಲಕ $E_\lambda - \lambda$ ಸಂಬಂಧ ಸೂಚಕ ರೇಖೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವು ವಿವಿಧ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಚಿತ್ರ (5.1) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸುವಂತೆ ಇರುತ್ತದೆ.

ಚಿತ್ರದಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಹೀಗಿವೆ :

(i) ಒಂದೊಂದು ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ರೇಖೆಯು $K_1P_1R_1$, $K_2P_2R_2$... ರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದು, P_1,P_2,P_3... ಬಿಂದುಗಳಲ್ಲಿ ಶಿಖರಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗುವ E_λ ಪ್ರಮಾಣವು ಉಚ್ಚವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

(ii) ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ E_λ ಶಕ್ತಿಯ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಪ್ರಮಾಣವೂ ಏರುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ.

(iii) ಈ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಪ್ರಮಾಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ (λ_{max}) ತರಂಗಾಂತರವನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, (OM_1, OM_2,...) ಇವುಗಳು ಉಷ್ಣಾಂಶ ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ, ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತವೆ. $OM_1 > OM_2 > OM_3$.

ಈ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಒಂದು ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಅಧೀನವಾಗಿ ಮಾಡಲು, ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಸೂತ್ರಗಳು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟವು. ಇವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿ ಹೊಂದಿದ್ದುವು.

ವೀನ್‌ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ

$$\lambda_{max}\ T = b = \text{ನಿಯತಾಂಕ.} \qquad \ldots \quad 5.1$$

ಇದು ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ (iii) ಫಲಿತಾಂಶವನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಆತನು ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದ ಸೂತ್ರದ ರೂಪವು

$$dE = K\lambda^{-5}\epsilon^{-\frac{a}{\lambda T}} \qquad \ldots \quad 5.2$$

ಇರುವುದರಿಂದ, ಇದರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರಗಳಿಗೆ ಮಾತ್ರ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, K P R ರೇಖೆಯಲ್ಲಿ K P ಭಾಗವು ಮಾತ್ರ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುತ್ತದೆ. P R (ಚಿತ್ರ 5.1) ಭಾಗಕ್ಕೆ ಸರಿಹೋಗುವುದಿಲ್ಲ.

ರ್‍ಯಾಲೆ – ಜೀನ್ಸ್ ಸೂತ್ರವು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ :

$$\frac{dE}{d\lambda} = B\lambda^{-4}.\ T\epsilon^{-\frac{a}{\lambda T}} \quad (B,\ a\ \text{ನಿಯತಾಂಕಗಳು}) \qquad \ldots \quad 5.3$$

ಈ ಸೂತ್ರವು, P R ಭಾಗಕ್ಕೆ ಮಾತ್ರ, ಅಂದರೆ, ತರಂಗಾಂತರವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಸರಿಹೋಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಸೂತ್ರದ ಮತ್ತೊಂದು ದೋಷವೇನೆಂದರೆ, (λ) ತರಂಗಾಂತರದ ಪ್ರಮಾಣವು $\theta \rightarrow \infty$ಗೆ ವಿಸ್ತರಿಸಿದರೆ, ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಒಟ್ಟು ಉಷ್ಣಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು

$$E = \int_0^\infty E_\lambda \cdot d\lambda \qquad \ldots \quad 5.4$$

ಅನಂತವಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ (infinite) ಮತ್ತು ಇದು ಎಲ್ಲ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಹೀಗೆಯೇ ಆಗಬೇಕು. ಇದೊಂದು ಅರ್ಥರಹಿತ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ !

ಹೀಗಾಗಿ, ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೆ ಸಮಂಜಸವಾದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ರೂಪಿಸಲು ಈ ಸೂತ್ರಗಳು ವಿಫಲಗೊಂಡವು.

ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೇ, ಪ್ಲಾಂಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಆ ಸೂತ್ರಗಳ ಮೂಲ ದೋಷಗಳು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದ್ದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದುವೆಂದು ಮನಗಂಡು ಧೈರ್ಯವಾಗಿ ಆ ತಳಹದಿಯನ್ನೇ ಕಿತ್ತುಹಾಕಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿದನು. ಆಗ ಇದ್ದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಹೀಗೆ ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು. ಬೆಂಕಿಯ ಉರಿಯು ಹೆಚ್ಚುತ್ತಿರುವ ಒಂದು ಮನೆಯಲ್ಲಿ ಸಿಕ್ಕಿಕೊಂಡಿರುವ ಒಂದು ಬೆಕ್ಕಿಗೆ, ಮನೆಯಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದು ಕಾಣುತ್ತಿರುವ ನೀರಿನ ಹತ್ತಿರ ಹೋಗಲು ತೋರುವುದೇ ಇಲ್ಲ. ಇಂಥ ಸ್ಥಿತಿಯಿಂದ ಪಾರು ಮಾಡಲು ಪ್ಲಾಂಕ್ ಒಂದು ಹೊಸ ಸೂತ್ರವನ್ನೇ ಕಲ್ಪಿಸಿ, ಯಶಸ್ವಿಯಾದನು.

5.2 ಪ್ಲಾಂಕ್ ಸೂತ್ರ – ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಹಿಂದಿನ ಸೂತ್ರಗಳಿಗೆ ಆಧಾರ ಭೂತವಾಗಿದ್ದ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ವಿಕಿರಣ ಶೀಲ (radiators) ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳೆಲ್ಲವೂ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಾಗುತ್ತಲಿರಬೇಕು. ಈ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆಯ ಭಾವನೆಯೇ ತಪ್ಪು ಎಂದು ಪ್ಲಾಂಕ್ ವಾದಿಸಿದನು. ಅವನು ಮಾಡಿದ ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು ವಿಚ್ಛಿನ್ನ (discontinuous) ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಇದ್ದು, ಅವುಗಳು ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠಮಾನದ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರಬೇಕು. ಈ ಕನಿಷ್ಠ ಮಾನವನ್ನೇ ಅವನು 'ಕ್ವಾಂಟಂ' ಎಂದು ಕರೆದನು. ಇದನ್ನು ಶಕ್ತಿಯ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು 'ಪೊಟ್ಟಣ' (packet) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಈ ಕ್ವಾಂಟಂನ ಪ್ರಮಾಣವು ಶಕ್ತಿಯ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (ν) ಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು

$E = h\nu$ ಎಂದು ತಿಳಿದರೆ, … 5.5

ಶಕ್ತಿಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು $nh\nu$ ಆಗಿದ್ದು, $n=1, 2, 3, \ldots\ldots$ ಆಗಿರಬೇಕು. $\lambda=$ ತರಂಗಾಂತರ, $c=$ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ ಆದರೆ

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \cdots \quad 5.6$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \qquad \cdots \quad 5.7$$

ಇಲ್ಲಿ $h=$ ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕಂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನಿರ್ಧರಿಸಿದರ ಪ್ರಕಾರ

$h = 6{\cdot}62 \times 10^{-34}$ ಜೂಲ್/ಸೆಕೆಂಡ್

$c = 3 \times 10^{8}$ ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್

ಈ ಎರಡು ನಿಯತಾಂಕಗಳು ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ (c) ವೂ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ (h) ಗಳೂ ಪ್ರಮುಖವಾದುವು. ಪಾ ಂಕ್ ತನ್ನ ಹೊಸ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಸಾಧಿಸಿದ ಕಲ್ಪನೆಯ ಮೂಲ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಈಗ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬಹುದು.

ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುವ ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥದ ಒಳಕೋಶ (cavity) ದಲ್ಲಿ ಹರ್ಟ್ಜ್ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸರಳರೇಖೆಯಲ್ಲಿ ಹಿಂದಕ್ಕೂ ಮುಂದಕ್ಕೂ ಆಂದೋಲನ ಮಾಡುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಂದೋಲಕಗಳು (electric linear oscillators) ತುಂಬಿವೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. ಇಂಥ ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದಲೇ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆಯಾಗುವುದಾಗಿ ಆ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಭಾವಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ಆಂದೋಲಕಗಳಿಂದ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯೇ ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಉಷ್ಣಾಂಶದಲ್ಲಿ ಸಮಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವುದು. ಆ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಶಕ್ತಿಯ ಸಾಂದ್ರತೆಗೂ (density of radiation) ಆ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಆಂದೋಲಕಗಳ ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿಗೂ (average energy) ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಸಂಬಂಧದ ಅನುಪಾತವು ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯ ಸಮಸ್ಯೆಯು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಉಷ್ಣಾಂಶದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಆಂದೋಲಕದ ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಪ್ರಶ್ನೆಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತದೆ.

ಈಗ ಪಾ ಂಕ್ ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದ ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ ಒಂದೊಂದು ಆಂದೋಲಕದ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳು o, e, 2e, 3e, ... ne, ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರಬಹುದು. ಇಲ್ಲಿ $e=h\nu$ ಎಂಬುದು ಕ್ವಾಂಟಂ ಮಾನ. ಸಂಭವ

ನೀಯುತೆಯು ನಿಯಮಗಳ (laws of probability) ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದು ಆಂದೋಲಕದ ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವು

$$\overline{E} = \frac{e}{\epsilon^{\frac{e}{KT}} - 1} \quad \ldots \quad 5.8$$

$e \rightarrow 0$ ಆದರೆ, $\left(\epsilon^{\frac{e}{KT}} - 1\right) = \frac{e}{KT}$ ಆಗಿ, $E = KT$. ಇದೇ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸಮಭಾಜಿಕ ತತ್ತ್ವವಾಗುತ್ತದೆ.

ಆದರೆ, $e = 0$ ಆಗುವಂತಿಲ್ಲ. ಅದು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯದ ನಿಯತಾಂಕವಾಗಿರಲೇಬೇಕು. ಇದರಿಂದ ಶಕ್ತಿಗೂ ಒಂದು ಪರಮಾಣುತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಪ್ಲಾಂಕ್ ಆದರೋ ಇದರ ಮೂಲಕ ಒಂದು ಹೊಸ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವ ಪ್ರಯತ್ನದಲ್ಲಿದ್ದನು. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವನು $e \, \alpha \, \nu$ ಅಥವಾ $e \, \alpha \, \frac{1}{\lambda}$ ಎಂದು ಭಾವಿಸಿ,

$$e = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{(h ನಿಯತಾಂಕ)} \quad \ldots \quad 5.9$$

$$\text{ಆಗ} \quad \overline{E} = \frac{h\nu}{\left(\epsilon^{\frac{h\nu}{KT}} - 1\right)} \quad \text{(ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿ)} \quad \ldots \quad 5.10$$

ಒಂದು ಗಾತ್ರಮಾನದಲ್ಲಿ $\lambda, (\lambda + d\lambda)$ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಇರಬಹುದಾದ ಕಂಪನಗಳ ಮಾದರಿಗಳ (modes) ಒಟ್ಟು ಸಂಖ್ಯೆ $n = 8\pi\lambda^{-4} \cdot d\lambda$.

$$\ldots \quad 5.11$$

∴ ಶಕ್ತಿಯ ಹಂಚಿಕೆಯ ಸೂತ್ರದ ರೂಪವು

$$dE = 8\pi\lambda^{-4} \cdot d\lambda \cdot \frac{h\nu}{\left(\epsilon^{\frac{h\nu}{KT}} - 1\right)} = E_\lambda \cdot d\lambda \quad \ldots \quad 5.12$$

ಇದನ್ನು ಮತ್ತೊಂದು ರೂಪದಲ್ಲಿಯೂ ಬರೆಯುವುದುಂಟು

$$E_\lambda = 8\pi\lambda^{-4} \cdot \frac{h\nu}{\left(\epsilon^{\frac{h\nu}{KT}} - 1\right)} \quad \ldots \quad 5.13$$

$\nu = \frac{c}{\lambda}$ ಎಂದು ಬರೆದರೆ,

$$E_\lambda = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{\left(\epsilon^{\frac{hc}{K\lambda T}} - 1\right)} \quad \text{(ಪ್ಲಾಂಕ್ ಸೂತ್ರ)} \quad \ldots \quad 5.14$$

$$= \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{\left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1\right)} \quad (C_1, C_2 \text{ ನಿಯತಾಂಕಗಳು}) \quad \ldots \quad 5.15$$

$$C_1 = 8\pi hc \quad (K = \text{ಬೋಲ್ಟ್ಜ್‌ಮನ್ ನಿಯತಾಂಕ} \quad \ldots \quad 5.16$$

$$C_2 = \frac{hc}{K}$$

ಈ ಸೂತ್ರವನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, λ ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣವಾದಾಗ, ವೀನ್ ಸೂತ್ರವೂ, λ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣವಾದಲ್ಲಿ ರ್‍ಯಾಲೆಜೀನ್ಸ್ ಸೂತ್ರವೂ, ರೂಪುಗೊಳ್ಳುವುದನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ λ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಎಲ್ಲ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವಾಗ, ಪ್ಲಾಂಕ್ ಸೂತ್ರವೇ ಏಕೈಕ ಸೂತ್ರವಾಗಿ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ.

ಮೇಲಿನ ಸೂತ್ರದಿಂದ, E_λ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕಾದರೆ $\frac{dE}{d\lambda} = 0$ ಎಂಬ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ λ_m ವಿನ ಮೌಲ್ಯವನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದರ ಮೂಲಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಪಡೆಯಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ, ಸ್ಟೀಫನ್ ನಿಯಮವನ್ನೂ ಸಮರ್ಥಿಸಬಹುದು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಸಂದಿಗ್ಧ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ಪರಿಹರಿಸಲು ಪ್ಲಾಂಕ್ ಸೂತ್ರವು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಸಂಬಲಾಗಿದ್ದ ಶಕ್ತಿವಿಕಿರಣದ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನತ್ವವನ್ನು ಕೈಬಿಡಬೇಕಾಯಿತು. ಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆ ಮತ್ತು ಗ್ರಹಣ (emission and absorption) ಗಳು ವಿಚ್ಛಿನ್ನ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ, ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಬದಲಾಗಬಹುದು ಎಂಬುದು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವದ ಮೂಲ ನಿಯಮವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿತು.

5.3 ಬೋಸ್-ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಂಖ್ಯಾಶಾಸ್ತ್ರ (Bose-Einstein Statistics)

ಸಂಪೂರ್ಣ ಕಪ್ಪು ಪದಾರ್ಥದಿಂದ ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಹಂಚಿಕೆಯ ಸೂತ್ರವನ್ನು, ಪ್ಲಾಂಕ್ ತಂದ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ, ಭಾರತೀಯ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಭೌತ

ವಿಜ್ಞಾನಿ ಬೋಸ್ 1924 ರಲ್ಲಿ ಕೇವಲ ಸಂಖ್ಯಾ ವಿಜ್ಞಾನದ ತರ್ಕದಿಂದಲೇ, ಸಾಧಿಸಿದನು. ಇದೇ ವಿಧಾನವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಕೂಡ ಅನಿಲಗಳ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಹೊಸ ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಈ ನವೀನ ಸಂಖ್ಯಾ ವಿಜ್ಞಾನದ ವಿಧಾನವನ್ನು ಬೋಸ್ – ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಹೆಸರಿನಿಂದ ಗುರುತಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಪ್ಲಾಂಕ್ ಪ್ರಚುರಪಡಿಸಿದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ರೂಪಿಸಿದ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಅನಿಶ್ಚಿತತೆಯ ತತ್ತ್ವವೂ ಅಡಗಿವೆ. ಇದರ ಮೂಲ ಕಲ್ಪನೆಗಳು ಹೀಗಿವೆ :

(i) ಕಪ್ಪುಪದಾರ್ಥದಿಂದ T° ಉಷ್ಣಾಂಶದಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು, ಸಮಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ, ದ್ಯುತಿಯ ಶಕ್ತಿಕಣಗಳ (Light quanta) ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಫೋಟಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಕರೆದರೆ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವು $h\nu$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

(ii) ಈ ಫೋಟಾನ್‌ಗಳು ಎಲ್ಲಾದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಚಲಿಸಲು ಅವಕಾಶ ಹೊಂದಿದ್ದು, ಅವುಗಳ ವೇಗವು c ಯಾಗಿಯೂ, ಆವೇಗ (momentum) ವು $p = \frac{h\nu}{c}$ ಆಗಿಯೂ ಇರುತ್ತವೆ.

(iii) ಒಂದೊಂದು ಫೋಟಾನ್‌ಕಣವನ್ನೂ ನಿರ್ದೇಶಿಸುವ ನೆಲೆ ಪ್ರದೇಶ (phase space) ವನ್ನು ಆರು ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರೀಕರಿಸಬಹುದು. ಇವುಗಳು, x, y, z, p_x, p_y, p_z.

(iv) ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯ ಹಂಚಿಕೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು, $h\nu$, $h(\nu + d\nu)$ ಎಂಬ ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣದ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿಯೂ, ಆವೇಗದ ಅವಧಿ $(p, p + dp)$ಯಲ್ಲಿಯೂ ಇರುವ ಫೋಟಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು.

(v) ಸೂಕ್ಷ್ಮಮೂಲಭೂತ ನೆಲೆಕೋಶ (elementary phase cell)ದ ಗಾತ್ರವು h^3 (h = ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ).

ಈ ಕಲ್ಪನೆಗಳ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಬೋಸ್ ರೂಪಿಸಿದ ಅಂತಿಮ ಸೂತ್ರವು ಹೀಗಿದ್ದಿತು.

$$dE = \frac{8\pi hc}{\lambda 5} \cdot \frac{1}{E^{\frac{hc}{KT\lambda}} - 1} \cdot d\lambda \quad \ldots \quad 5.17$$

ಇದೇ ಪ್ಲಾಂಕ್ ಸೂತ್ರದ ತದ್ವತ್ ರೂಪ. ಇದರ ಸಾಧನೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ಲಾಂಕ್ ಮಾಡಿದ ಕಾಲ್ಪನಿಕ ಅನುರಣನ ಆಂದೋಲಕಗಳು (resonators) ಬೇಕಿಲ್ಲ. ಫೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಮಾತ್ರ ಅಡಗಿವೆ.

ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಭೇದವಿದ್ದರೂ, ಈ ನಿರೂಪಣೆಯೂ ಕೂಡ ಪ್ಲಾಂಕ್ ಮಾಡಿದ ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವದ ಸಮರ್ಥನೆಯೇ ಆಗಿದೆ.

5.4 ಘನವಸ್ತುಗಳ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣ (specific heat of solids)

ಘನವಸ್ತುಗಳ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಡ್ಯೂಲಾಂಗ್-ಪೆಟಿಟ್ ಸೂತ್ರವು ಪ್ರಚುರವಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಮೂಲಭೂತವಾದ ಘನವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣು ಉಷ್ಣ (atomic heat)ದ ಪ್ರಮಾಣವು ಆ ಕ್ಯಾಲರಿಗಳ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿದ್ದು ನಿಯತಾಂಕವಾಗಿರಬೇಕು. ಪರಮಾಣು ಉಷ್ಣ = ಪರಮಾಣು ತೂಕ × ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣ. ಇದನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು, ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಇದರ ಮೌಲ್ಯವು $3R = 5.94$ ಕ್ಯಾಲರಿಗಳಿಗೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ವಾದಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಆಧಾರವಾಗಿ ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ಪ್ರಕಟಿಸಿದ ಸಮಭಾಜಕ ತತ್ತ್ವ (Equipartition Law) ವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸ್ವತಂತ್ರ ಚಲನಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳ ಪ್ರಮಾಣಸಂಖ್ಯೆಯು (degrees of freedom) ಆರಾಗಿದ್ದು, ಒಂದೊಂದು ಮಾರ್ಗ (degree) ಕ್ಕೂ $\frac{1}{2}KT$ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರಬೇಕು.

ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣ $= 6 \times \frac{1}{2}KT = 3KT$. ಪರಮಾಣ ತೂಕದಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ (N) ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರೆ ಅದು $3NK = 3R$. $R =$ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕನಿಯತಾಂಕ $= 1.98$ ಕ್ಯಾಲರಿಗಳು.

ಈಗ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಡ್ಯೂಲಾಂಗ್ ಪೆಟಿಟ್ ನಿಯಮವು ಅಧಿಕ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಸುಮಾರಾಗಿ ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತೆ ತೋರಿದರೂ, ಕಡಮೆ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯು ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಕೆಲವು ವಸ್ತುಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಪರಮಾಣು ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿಯೂ, ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಮುರಿದು ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡಲು ಹೊಸಸಿದ್ಧಾಂತವೇ ಬೇಕಾಯಿತು. ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಇಲ್ಲಿಯೂ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕೆಂದು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು.

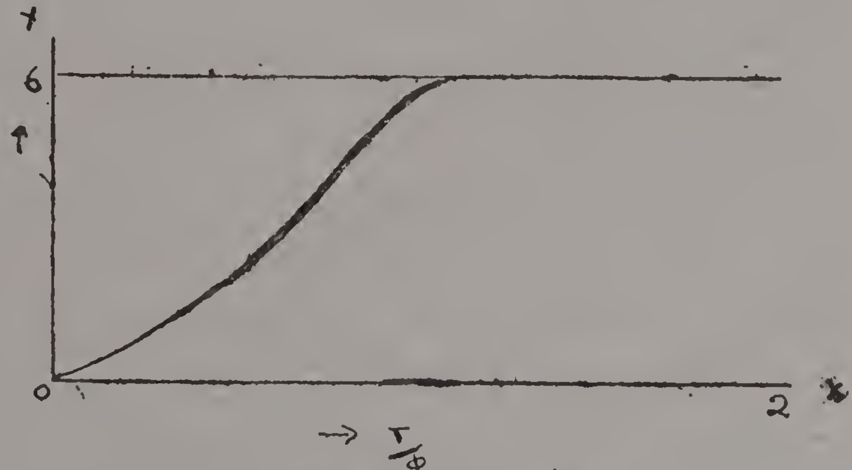
ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತತ್ತ್ವಗಳಲ್ಲಿರುವ ಮುಖ್ಯ ದೋಷವೇನೆಂದರೆ; ಶಕ್ತಿಯ ಹಂಚಿಕೆಯು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು. ಅಂದರೆ, ಸಮಹಂಚಿಕೆಯ ತತ್ತ್ವದಪ್ರಕಾರ ಒಂದೊಂದು ಸ್ವತಂತ್ರ ಚಲನೆಯ ಮಾರ್ಗಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ $\frac{1}{2}$KT ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವು ಸಮನಾಗಿ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ ಎಂಬುದು. ಇದನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕು. ಇದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನ ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು. ν ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯುಳ್ಳ ಒಂದೊಂದು ಆಂದೋಲಕಕ್ಕೂ ಒಂದೊಂದು ಆಂದೋಲಕ ಮಾತ್ರೆ (degree) ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಶಕ್ತಿಯು

$$\frac{h\nu}{\epsilon^{\frac{h\nu}{KT}}-1} \qquad \ldots \quad 5.18$$

ಆಗಿರಬೇಕು. ಇದನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಹೊಸ ಸೂತ್ರವನ್ನು ರಚಿಸಬೇಕು. ಈ ಹೊಸಸೂತ್ರವು ಎಲ್ಲ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ವಸ್ತುಗಳ ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣಕ್ಕೂ, ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೂ ಇರಬೇಕಾದ ಸಂಬಂಧಕ್ಕೆ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುತ್ತದೆ.

ಹೆಚ್ಚು ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರವೂ, ಡ್ಯೂಲಾಂಗ್-ಪೆಟಿಟ್ ನಿಯಮದ ರೂಪವನ್ನು ಅಂತಿಮವಾಗಿ ರೂಪಿಸಬಹುದು.

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ ಇದ್ದ ಕಲವು ನ್ಯೂನತೆಗಳನ್ನೂ ಸರಿಪಡಿಸಲು ಡಿಬೈ



ಚಿತ್ರ 5.2 ಡಿಬೈಸೂತ್ರ

(Debye) ಮತ್ತೊಂದು ಹೊಸ ಸೂತ್ರವನ್ನು ರೂಪಿಸಿದನು. ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದೊಂದು ಮೂಲಭೂತ ಘನವಸ್ತುವಿಗೂ, ಒಂದು ವೈಯಕ್ತಿಕ ಉಷ್ಣಾಂಶ (ಡಿಬೈ ಉಷ್ಣಾಂಶ) ವಿರುತ್ತದೆ. T ಎಂಬುದು ನಿರಪೇಕ್ಷಕ ಉಷ್ಣಾಂಶವಾಗಿದ್ದು,

C_V=ಪರಮಾಣು ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣವಾದರೆ C_v = ಮತ್ತು $\frac{T}{\phi}$ ಗಳನ್ನು ಎರಡು ಲಂಬ ಅಕ್ಷಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಗುರುತಿಸಿದರೆ, ಬರುವ ರೇಖೆಯನ್ನು ಚಿತ್ರ 5.2 ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಈ ಒಂದೇ ಚಿತ್ರದ ರೂಪವು ಅನ್ವಯವಾಗುವುದರಿಂದ $\frac{T}{\phi}$ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾದಾಗ, $C_v = 6$ ಎಂಬ ಮೌಲ್ಯವು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿದು ಬರುತ್ತದೆ. ಅಧಿಕ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಡ್ಯೂಲಾಂಗ್-ಪಟಿಟ್ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದಂತೆ ಭಾವಿಸಿದರೆ ತಪ್ಪಾಗಲಾರದು.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ, ಗ್ರಾಹ್ಯೋಷ್ಣದ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಬಗೆಹರಿಸಲೂ, ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಬೇಕೆಂದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಯಿತು. ಅದರ ಯಶಸ್ಸು ಹೆಚ್ಚಾಯಿತು.

5.5 ಭೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಮೇಯಗಳು

ಉಷ್ಣವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಒಂದು ಭದ್ರವಾದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಂಡಿತು ಎಂದು ತಿಳಿದರೆ, ಅದರ ಯಶಸ್ಸು ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚಿ ಅದರ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯವನ್ನು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಏರಿಸಲು ಕಾರಣಭೂತವಾದುವು ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳು. ಇವುಗಳೇ ಭೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತ ಮತ್ತು ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಐನ್-ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣ. ಈಗ ಮೊದಲನೆಯದನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸೋಣ.

ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇದೊಂದು ದೊಡ್ಡ ಮೈಲಿಗಲ್ಲು ಎಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಒಂದು ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ಕೇಂದ್ರವನ್ನಾಗಿ ಹೊಂದಿ ಒಂದು ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಯಿತು. ಆದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಶಕ್ತಿಯು ವಿಕಿರಣವಾಗಬೇಕಾದುದರಿಂದ, ಕ್ರಮೇಣ, ಪಥದಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯವುಂಟಾಗುತ್ತ (degenerate) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಬೀಳುವ ಸಂಭವವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ವಾಸ್ತವವಾದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಭದ್ರತೆಗೆ ವಿರೋಧವಾಗುವುದರಿಂದ ಅದು ಉಂಟಾಗುವಂತಿಲ್ಲ. ಇದೊಂದು ದೊಡ್ಡ ಬಿಕ್ಕಟ್ಟಾಗಿ (deadlock) ಪರಿಣಾಮವಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ಪರಿಹರಿಸಲು ಭೋರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಧೈರ್ಯದಿಂದ ಒಂದು ಹೊಸ ಪ್ರಮೇಯವನ್ನು ಹೊರದೂಡಿ ಯಶಸ್ಸನ್ನು ಪಡೆದನು. ನೀಲ್ಸ್‌ಭೋರ್ (1885-1962) ಕೋಪನ್‌ಹೇಗನ್‌ನಲ್ಲಿ ಜನಿಸಿದನು. ಆತನ ತಂದೆ ಆ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾ ನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಶರೀರ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿದ್ದನು. 1911ರಲ್ಲಿ ಪಿಎಚ್.ಡಿ. ಪಟ್ಟವನ್ನು ಪಡೆದು ನೀಲ್ಸ್‌ಭೋರ್, ಕೇಂಬ್ರಿಜ್ ಮತ್ತು ಮ್ಯಾಂಚೆಸ್ಟರ್‌ಗೆ ತೆರಳಿ ಅಲ್ಲಿ, ಥಾಂಸನ್ ಮತ್ತು ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಶಿಷ್ಯ ವೃತ್ತಿಯನ್ನು

ಹೊಂದಿದನು. ಅಲ್ಲಿಂದ 1913 ರಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಸ್ವಸ್ಥಾನವಾದ ಕೋಪನ್‌ಹೇಗನ್‌ಗೆ ವಾಪಸಾಗಿ, ತನ್ನ ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಯ ಫಲವನ್ನು ವಿವರಿಸಿದನು. ಅಲ್ಲಿಂದ ಮುಂದಕ್ಕೆ ಪ್ರಾಧ್ಯಾಪಕನಾಗಿ ಕೆಲಸಮಾಡಿ, 1922 ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕವನ್ನೂ, ಇನ್ನೂ ಹಲವಾರು ಪ್ರಶಸ್ತಿಗಳನ್ನೂ ಪಡೆದು ವಿಶ್ವವಿಖ್ಯಾತನಾದನು.

ಈತನು ಹೊರಗೆಡಹಿದ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಮೂಲಪ್ರಮೇಯ (postulates)ಗಳು ಹೀಗಿವೆ :

(i) ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಸುತ್ತಲೂ ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಕೆಲವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಚಲಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಮನಸ್ಸಿಗೆ ತೋರಿದಂತೆ ಎಲ್ಲ ಪಥಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಸುತ್ತುವಂತಿಲ್ಲ. ನಿಯಮಬದ್ಧವಾದ ಕೆಲವು ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಸುತ್ತುವಂತಿರಬೇಕು. ಇವುಗಳನ್ನು ಸ್ಥಾಯೀಪಥಗಳು ಅಥವಾ ವಿಶಿಷ್ಟ ಕಕ್ಷೆಗಳು (privileged orbits) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

(ii) ಇಂಥ ವಿಶಿಷ್ಟ ಕಕ್ಷೆಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು ಕುಂದುವಂತಿಲ್ಲ. ಈ ಕಲ್ಪನೆಯು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ವಿರೋಧವಾದುದು. ಇದು ಅನಿವಾರ್ಯವಾಯಿತು. ಇಲ್ಲದಿದ್ದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಭದ್ರತೆಗೆ ಧಕ್ಕೆಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ.

(iii) ಈ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಕಕ್ಷೆಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವಾಗ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಚಲನೆಗೆ ಅನ್ವಯ ಮಾಡಬೇಕು. ಇದೂ ಒಂದು ನವೀನ ಕಲ್ಪನೆ.

(iv) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ಕೆ ಅತಿ ಸಮೀಪವಾದ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿಯೇ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಹೊರಗಿನಿಂದ, ಯಾವ ವಿಧದಲ್ಲಿಯಾದರೂ, ಶಕ್ತಿಯು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಒದಗಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ದೂರದಲ್ಲಿರುವ ಮತ್ತೊಂದು ವರ್ತುಲ ಪಥಕ್ಕೆ ತೆರಳಿ ಅಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಒಂದು ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿ (excited state) ಯೆಂದು ಪರಿಗಣಿಸಬೇಕು. ಏಕೆಂದರೆ, ಈ ಹೊಸ ಪಥದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಅಲ್ಪಕಾಲ ಉಳಿದು ಮತ್ತೆ ತನ್ನ ಸ್ವಸ್ಥಾನವಾದ ಸುಭದ್ರ ಪಥಕ್ಕೆ ವಾಪಸಾಗು

ತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ, ವಾಪಸಾಗುವಾಗ, ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಕಿರಣ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯ ವಿಕಿರಣದಿಂದಲೇ, ವರ್ಣಪಟಲದ ಒಂದು ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಯು (spectral line) ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆ.

(v) ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದಂತೆ, ಶಕ್ತಿವಿಕಿರಣವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯ ಪಥದಿಂದ ಕಡಿಮೆ ಶಕ್ತಿಯ ಪಥಕ್ಕೆ ಧುಮುಕಬೇಕು. (jump). ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಮಧ್ಯೆ ಎಲ್ಲಿಯೂ ನಿಲ್ಲುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ. ಈ ಶಕ್ತಿಯ ವಿಕಿರಣವೂ ಕೂಡ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿಯೇ ಇರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು E_2 ಶಕ್ತಿಪಥದಿಂದ E_1 ಶಕ್ತಿಪಥಕ್ಕೆ ಧುಮುಕಿದರೆ, ಶಕ್ತಿಯ ವಿಕಿರಣದ ಪ್ರಮಾಣವು $(E_2 - E_1)$ ಆಗಿ, ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಯ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ν ಆದರೆ,

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad \text{(h = ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ)} \qquad \ldots \quad 5.19$$

ಇದರಿಂದ, ವರ್ಣಪಟಲದ ಶಾಸ್ತ್ರಕ್ಕೆ (spectroscopy) ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಉಪಕಾರ ವಾಗಿ, ಅದರ ಪ್ರಗತಿಗೆ ಬಾಗಿಲನ್ನು ತೆಗೆದಂತಾಯಿತು.

ಹೀಗಾಗಿ ಭೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೂ, ಪರಮಾಣು ವಿನ ವರ್ಣಪಟಲ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೂ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನ ಮಾಡಿದಂತಾಯಿತು. ಈಗ ಇವು ಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಸೂತ್ರಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ನಿರೂಪಣೆ ಮಾಡ ಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು, ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೂ ವರ್ಣಪಟಲಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆ ಯನ್ನು ಪಡೆಯಲಾಯಿತು.

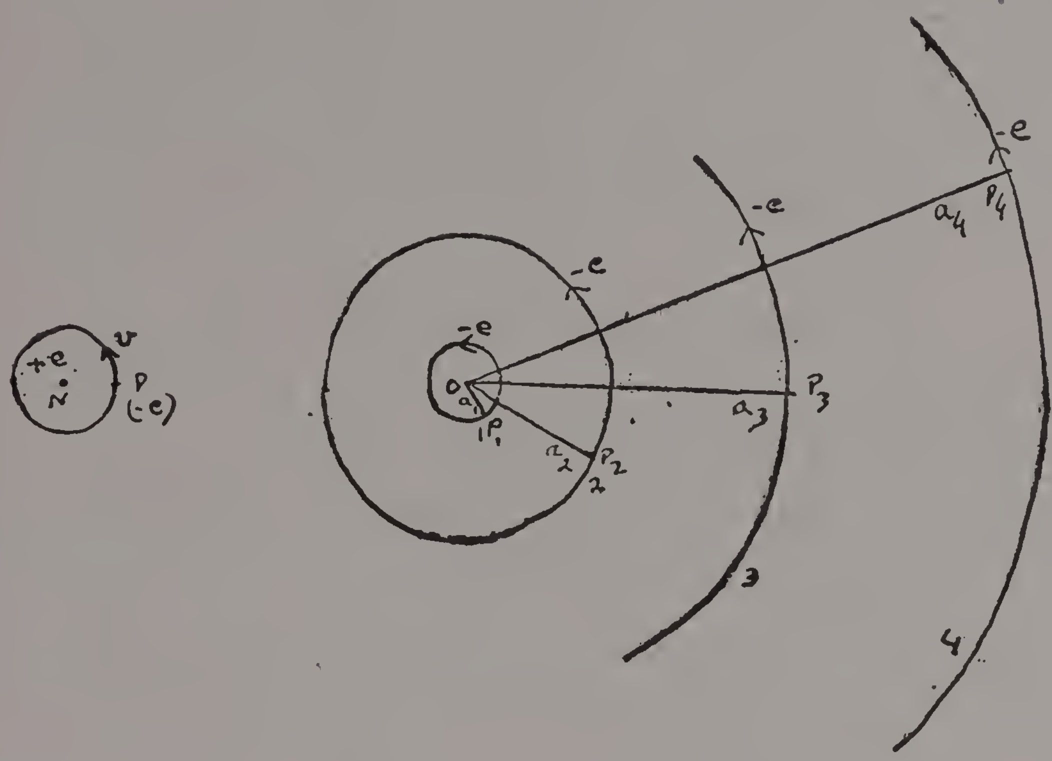
5.6 ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆ

ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ಬೀಜದಂತಿದ್ದು ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಸುತ್ತುವುದೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು.

ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶವು $+e$ – ಜಡಾಂಶ $= M$
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶವು $-e$. ಜಡಾಂಶ $= m$.

ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು a ತ್ರಿಜ್ಯದ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಅಥವಾ ವಿಶಿಷ್ಟ ವೃತ್ತ ದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ o ಬಿಂದುವಿ

ನಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣವು ಇದ್ದು P ಎಂಬುದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣವು ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿದೆ ಎಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 5.3 ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು

M = 1836m ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣವು o ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ನಿಶ್ಚಲವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣವು ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ವೇಗವು v ಆಗಿರಲಿ. ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು m ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಹೊಂದಿರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಅದರ ಮೇಲೆ $\overrightarrow{Po}$ ನೇರದಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರಾಭಿಮುಖವಾದ ಒಂದು ಬಲಪ್ರಯೋಗವಿರಬೇಕು. ಇದು $\frac{mv^2}{a} = F$ ಆಗಿರಬೇಕು.

ಆದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿದ್ಯುದಂಶವು $-e$ ಆಗಿಯೂ, ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶವು $+e$ ಆಗಿಯೂ ಇರುವುದರಿಂದ, ಕೂಲಾಂಬ್ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ, ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಕರ್ಷಕ (electrostatic) ಬಲವು ಏರ್ಪಡಬೇಕು.

[ಸೂಚನೆ–ಇನ್ನುಮುಂದೆ ನಮ್ಮ ಸೂತ್ರಗಳೆಲ್ಲವೂ ..... K. S. ಮಾನದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಅನ್ವಯವಾಗುವುದೆಂಬುದನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕು].

ಈ ವಿದ್ಯುತ್‌ಬಲವು $\frac{Ke^2}{a^2}$ ಆಗಬೇಕು. ಈ ಬಲದ ದೆಸೆಯಿಂಬಲೇ, ವರ್ತುಲ ಚಲನೆಯು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ

$$\frac{mv^2}{a} = \frac{K.e^2}{a^2}\ ;\ mv^2 = \frac{Ke^2}{a} \qquad \ldots\ 5.20$$

[ಇಲ್ಲಿ $K = 9 \times 10^9 \frac{\text{ನ್ಯೂಟನ್ ಮೀಟರ್}^2}{\text{ಕೂಲಾಂಬ್}^2}$]

[m ದ್ರವ್ಯಾಂಶ kg ಮಾನದಲ್ಲಿಯೂ,
v – ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್
e – ಕೂಲಾಂಬ್
a – ಮೀಟರ್ ಮಾನಗಳಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ.]

ಇದು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಚಲನೆಯ ಸೂತ್ರ.

ಈಗ, ಭೋರ್‌ಮಾಡಿದ ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಅನ್ವಯ ಮಾಡಬೇಕು.

ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದರೆ, ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಕೋನೀಯ ಆವೇಗ (angular momentum) ವು mva ಆಗಿ,

$$mva = n\frac{h}{2\pi} \qquad \ldots\ 5.21$$

ಇಲ್ಲಿ h = ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ ; n = ಪೂರ್ಣಾಂಕ = 1,2,3

n ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (Principal quantum number) ಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಸುತ್ತಬಹುದಾದ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವೃತ್ತಗಳನ್ನು 1, 2, 3,...ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಂದ ಗುರುತಿಸಬಹುದು, ಇದೇ ಅವುಗಳ ವಿಶಿಷ್ಟತೆ.

ಇವುಗಳನ್ನು ಭೋರ್ ವೃತ್ತಗಳೆಂದೂ ಕರೆಯುವುದುಂಟು. ಮೇಲಿನ ಎರಡು ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಸರಿ ಹೊಂದಿಸಿದರೆ,

$$a = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 me^2 K} \qquad \ldots\ 5.22$$

n = 1, 2, 3...ಆದರೆ, ವೃತ್ತಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯಗಳು a_1, a_2, a_3... ಆಗಿರುತ್ತವೆ.

ಇದರ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಪರಿಣಾಮವೇನೆಂದರೆ, ಭೋರ್ ವೃತ್ತಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯ ಗಳನ್ನು ತಿಳಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಉದಾಹರಣೆಗಾಗಿ, n = 1 ಆಗುವಾಗ, ಅತ್ಯಂತ ಸಮೀಪದ ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯದ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

$$a_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2 K} \qquad \ldots\ 5.23$$

ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಿರುವ ಮೌಲ್ಯಗಳು ಹೀಗಿವೆ.

$h = 6.62 \times 10^{-34}$ ಜೂಲ್-ಸೆಕೆಂಡ್

$m = 9.1 \times 10^{-31}$ ಕಿ.ಗ್ರಾಂ.

$e = 1.60 \times 10^{-19}$ ಕೂಲಾಂಬ್

$k = 9 \times 10^{9}$ ನ್ಯೂಟನ್. ಮೀ^{2}/ಕೂಲಾಂಬ್^{2}

ಇವುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ,

$a_1 = 0.53 \times 10^{-10}$ ಮೀಟರ್.

1 ಆಂಗ್‌ಸ್ಟ್ರಾಂವ್ ಮಾನ $= 10^{-10}$ ಮೀಟರ್ $= 1$A° ... 5.24

$\therefore a_1 = 0.53$ A°.

ಇದನ್ನೇ ನಾವು ಪರಮಾಣುವಿನ ತ್ರಿಜ್ಯವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಬೇರೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಅಂದಾಜು ಮಾಡಿರುವ ಪರಮಾಣುವಿನ ವ್ಯಾಸವು ಸುಮಾರು 1A° ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಮೇಲಿನ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದಿಂದ, ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು ವ್ಯಾಸವು

$2a_1 = 1.06$ A° ಆಗಿ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯಾದಂತಾಯಿತು. ಇದು ಭೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಪ್ರಥಮ ಸಮರ್ಥನೆ.

ಎರಡನೆಯ ವೃತ್ತಕ್ಕೆ $n = 2$ ಆಗಿ, $a_2 = 4a_1 = 4 \times 0.53 = 2.12$A°. ಹೀಗಾಗಿ, ಇತರ ಭೋರ್ ವೃತ್ತಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯಗಳು $9a_1, 16a_1, \ldots n^2a, \ldots$ ಆಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ (5.3)ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

ಮೊದಲನೆಯ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವೇಗವು v, ಆದರೆ,

$v_1 = K \dfrac{2\pi e^2}{h}$ ಆಗುತ್ತದೆ. ... 5.25

ಇದನ್ನು ರೂಢಿಸಿದರೆ, $v_1 = \dfrac{1}{137} c$ (c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ)ವಾಗುತ್ತದೆ.

ಎರಡನೆಯ ಪಥದಲ್ಲಿ $v_2 = \frac{1}{2} v_1 \ldots$

ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು f ಎಂದು ಕರೆದರೆ, $f = \dfrac{v}{2\pi a}$.

$n = 2$ ಆದರೆ, $f = 10^{15} \left(\dfrac{\text{ಸುತ್ತುಗಳು}}{\text{ಸೆಕೆಂಡ್}}\right)$ $r.p.s.$ (ಆಗುತ್ತದೆ).

ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವೇನೆಂಬುದನ್ನು ಈಗ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರ ಮಾಡಬಹುದು.

a ತ್ರಿಜ್ಯದ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿಯು Ep ಆದರೆ,

$$Ep = -K\frac{e^2}{a} \qquad \dots \quad 5.26$$

ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯು E_K ಆದರೆ, $E_K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} K \frac{e^2}{a}$

$$\therefore \text{ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು } E = E_P + E_K = -\frac{1}{2} K \frac{e^2}{a} \qquad \dots \quad 5.27$$

n ಸಂಖ್ಯೆಯ ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯವು a_n ಆಗಿರುವಾಗ, ಶಕ್ತಿಯು E_n ಆದರೆ

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m.e^4.k^2}{n^2 h^2}$$

$$= -\frac{w}{n^2} \text{ ಎಂದು ಬರೆದರೆ,} \qquad \dots \quad 5.28$$

$$w = \frac{2\pi^2 m e^4 K^2}{h^2} \qquad \dots \quad 5.29$$

ಬಲಗಡೆಯಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ,

$$w = 2.179 \times 10^{-18} \text{ ಜೂಲ್‌ಗಳು ಆಗುತ್ತದೆ} \qquad \dots \quad 5.30$$

$$E_1 = -\frac{W}{1^2} = -2.179 \times 10^{-18} \text{ ಜೂಲ್‌ಗಳು.}$$

1 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್ = 1e.v = 1.6×10^{-19} ಜೂಲ್‌ಗಳು. ... 5.31

$$\therefore E_1 = -\frac{2.179 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} = -13.6 \text{ e. v.} \qquad \dots \quad 5.32$$

ಇದೂ ಒಂದು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ಪರಿಣಾಮ.

n = 2 ಆದರೆ, $E_2 = -\frac{13.6}{2^2} = -3.4$ e. v.

n = 3 ; $E_3 = -\frac{13.6}{3^2} = -1.51$ e. v.

ಹೀಗಾಗಿ, ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಮುಖ್ಯ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಗಮನಾರ್ಹವಾದುವು.

n = 1 ಆದರೆ, $a_1 = 0.53 A^\circ$

ಉಳಿದ ವೃತ್ತಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯಗಳು $4a_1$, $9a_1$, ... ಆಗುತ್ತವೆ.

n = 1 ಆಗಿರುವಾಗ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವು

$$E_1 = -13\cdot6 \text{ e.v.}$$

ಉಳಿದ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಗಳು, $\frac{1}{4}E_1, \frac{1}{9}E_1, \ldots \frac{E_1}{n^2}$ ಆಗುತ್ತವೆ.

E ಪ್ರಮಾಣವು ಋಣ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ,

$$E_1 = -13\cdot6 \text{ e.v.}$$
$$E_2 = -3\cdot4 \text{ e.v.}$$

ವಾಸ್ತವವಾಗಿ $|E_2| > |E_1|$

ಅಂದರೆ, ದೂರದ ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. n = 1 ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಶಕ್ತಿಯು ಕನಿಷ್ಠ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದಲೇ ಅದನ್ನು ಸುಭದ್ರಪಥ (stable) ವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ಈ ಅತ್ಯಂತ ಸಮೀಪದ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿಯೇ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಇರುವುದು. ಉದ್ರೇಕಗೊಂಡಾಗ (excited) ಮಾತ್ರ ದೂರದ ವೃತ್ತಗಳಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವ ಸಂಭವವಿದ್ದರೂ, ಅಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲವಿದ್ದು ಮತ್ತೆ ಸುಭದ್ರ ಪಥಕ್ಕೆ ವಾಪಸಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಪಡೆದಿವೆ.

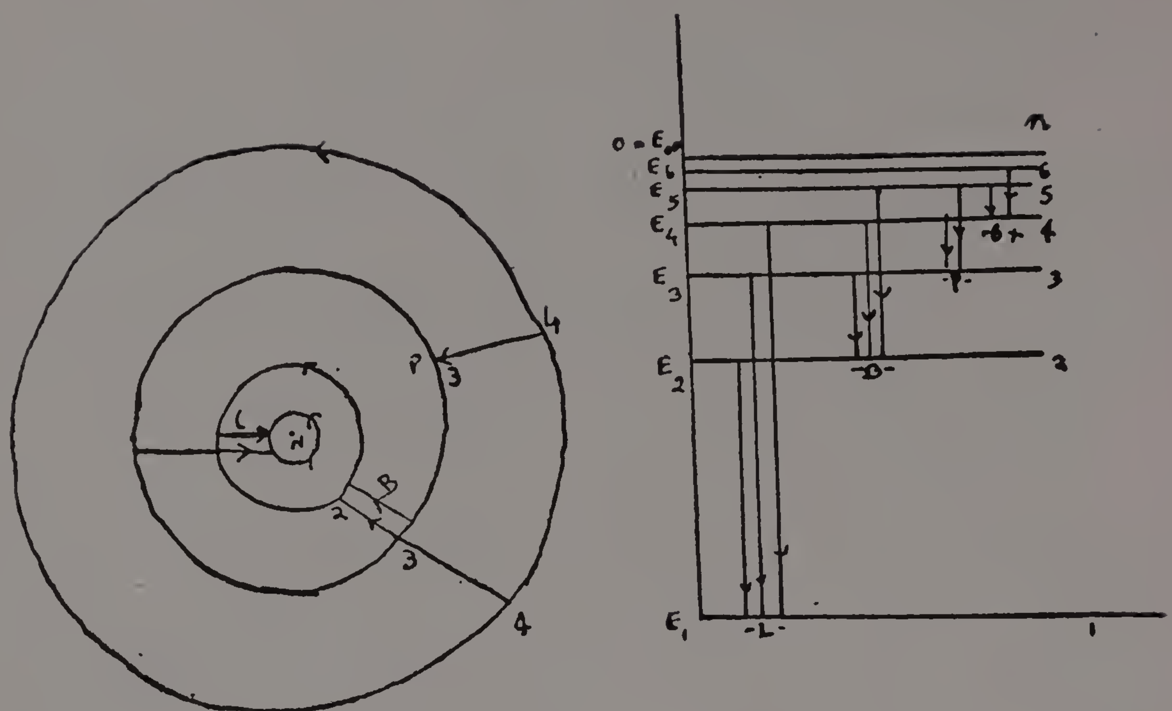
5.7 ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ವರ್ಣಪಟಲ

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿರುವಂತೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಒಂದೊಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗಲೂ, ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ವಿವಿಧ ಪಥಗಳನ್ನು ಅವುಗಳ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (n) ಗಳಿಂದ ನಿರ್ದೇಶಿಸಿದರೆ, n ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣವೂ (E_n) ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿಸಿದೆ. ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿಯೇ,

$$E_1 = -13\cdot6 \text{ e.v.}$$
$$E_2 = -3\cdot4 \text{ e.v.} = \frac{E_1}{4}$$
$$E_n = \frac{-13\cdot6}{n^2} \text{ e.v.} = \frac{E_1}{n^2}$$

ಇವುಗಳನ್ನು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳೆಂದು (energy levels) ತಿಳಿಸಿದರೆ, ಶಕ್ತಿವಿಕರಣವು (radiation) ಹೇಗೆ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಸಲು ಒಂದು ಚಿತ್ರವನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಬಹುದು ಇದನ್ನೇ. ಚಿತ್ರ (5.4) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



(a)

ಚಿತ್ರ 5.4 ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲ – ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳ ಚಿತ್ರ

ಈಗ ಈ ಮಟ್ಟಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ಭೋರ್ ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲದ ಶ್ರೇಣಿಗಳೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೆ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸಮರ್ಪಕವಾದ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟನು.

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಮಾಡಲಾಗಿದ್ದ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಕ್ರೋಢೀಕರಿಸಿ, ಬಾಮರ್ (Balmer) ಒಂದು ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಕೆಲವು ಪ್ರಧಾನ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು H_{α}, H_{β} ...ಎಂಬ ಸಂಕೇತಗಳನ್ನು ಇಟ್ಟನು. ಇವುಗಳಿಗೆಲ್ಲ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ತರಂಗಾಂತರ (λ) ಗಳನ್ನು ಅಳತೆ ಮಾಡಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಅದರ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳೆ ಅದರ ಹೆಬ್ಬೆಟ್ಟಿನ ಗುರುತು (finger-prints) ಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ನಾವು ವರ್ಣಪಟಲ ವಿಧಾನದ ಸಂಶ್ಲೇಷಣೆಯ ಮಾರ್ಗ (spectral analysis) ವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಸೂಕ್ಷ್ಮತೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ನಿಖರತ್ವದಲ್ಲಿಯೂ ಇದು ಎಲ್ಲ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಆದರೆ, ಈ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳಿಗೂ ವಸ್ತುವಿನ ರಚನೆಗೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕು ಎಂಬುದು ಮಾತ್ರ ಗೊತ್ತಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಒಂದು ರಚನೆ ಇದೆ ಎಂದು ತಿಳಿದು, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ ಬೇರೂರಿ ನಿಂತಮೇಲೆ, ಇವುಗಳೆರಡಕ್ಕೂ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಹೊಸ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡುವ ಸುಯೋಗವು ಭೋರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ ಒದಗಿತು.

1885ರಲ್ಲಿ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳ ಶ್ರೇಣಿ (spectral series) ಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಜಲಜನಕದ ಸುಮಾರು ಒಂಬತ್ತು ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗ ದೂರಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಬಾಮರ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಸೂತ್ರ ಹೀಗಿದೆ.

$$\lambda = 3645 \cdot 6 \frac{m^2}{m^2 - 4} \text{ (ಆಂಗ್‌ಸ್ಟ್ರಾಂ ಮಾನಗಳಲ್ಲಿ)} \quad \ldots \quad 5.33$$

ಈ ಸರಳ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ m = 3, 4, 5......

ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಕ್ರಮವಾಗಿ H_α, H_β, H_γ ... ರೇಖೆಗಳು ಬರುತ್ತವೆ.

m = 3	H_α	λ = 6562 A°
m = 4	H_β	λ = 4861 A°
m = 5	H_β	λ = 4340 A°

... ... ಇತ್ಯಾದಿ.

ಈ ರೇಖೆಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಶ್ರೇಣಿಯನ್ನು ಬಾಮರ್ ಶ್ರೇಣಿಯೆಂದೇ ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಇದೇ ಮಾದರಿಯ ಹಲವಾರು ಸೂತ್ರಗಳೂ ಇತರ ವರ್ಣಪಟಲಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ ರಚಿತವಾಗಿವೆ. ಒಂದು ಸಾರ್ವತ್ರಿಕವಾದ ಸೂತ್ರದ ಸ್ವರೂಪವು ಹೀಗಿದೆ.

$$\overline{\nu_m} = \bar{\nu}_\infty - \frac{R}{(m + \mu)^2} \quad \ldots \quad 5 \cdot 34$$

ಇಲ್ಲಿ $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} =$ ತರಂಗ ಸಂಖ್ಯೆ (wave number).

$\bar{\nu}_\infty$ = ಅಂತಿಮ ಮೌಲ್ಯ (ನಿಯತಾಂಕ). μ = ನಿಯತಾಂಕ.

m ಸಂಖ್ಯೆಯ ಬೆಲೆಯನ್ನು ವ್ಯತ್ಯಾಸಮಾಡಿದಂತೆಲ್ಲ, ರೇಖೆಯ ತರಂಗ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಮೌಲ್ಯವು ಬೇರೆಯಾಗುತ್ತಾ ಹೋಗುತ್ತದೆ. R = ರಿಡ್‌ಬರ್ಗ್ ನಿಯತಾಂಕ.

ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, R_H = 109678 ಸೆಂ. ಮೀ.$^{-1}$
ಇಷ್ಟೆಲ್ಲಾ ಸೂತ್ರಗಳಿದ್ದರೂ, ಇವುಗಳ ನಿಜವಾದ ಅರ್ಥವನ್ನು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಭೋರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟನು.

ಈಗ ಸರಳವಾದ ಬಾಮರ್ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಪರಿಶೀಲಿಸೋಣ.

ಭೋರ್ ಮಾಡಿದ ಮೂಲ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಶಕ್ತಿಯ ವಿಕಿರಣವಾಗಿ ಒಂದು ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟದ ಶಕ್ತಿ ಪಥದಿಂದ ಕೆಳಮಟ್ಟದ ಶಕ್ತಿಯ ಪಥಕ್ಕೆ (ಪರಿವರ್ತನೆ) ನೆಗೆಯಬೇಕು. ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಎರಡು ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾಗಿರಬೇಕು.

m ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪಥದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯು E_m

n ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪಥದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯು E_n

$m > n$ ಆದರೆ $E_m > E_n$

m ಪಥದಿಂದ n ಪಥಕ್ಕೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ನೆಗೆಯುವಾಗ, ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು $E_m - E_n$.

ಕ್ವಾಂಟಂ ನಿಬಂಧನೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, ಇದರ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ν ಆದರೆ

$$(E_m - E_n) = h\nu$$

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} \qquad \ldots \quad 5.35$$

ಈ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ತರಂಗಾಂತರವು λ ಆದರೆ,

$$c = \nu\,\lambda.$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{h\,c}{(E_m - E_n)} \qquad \ldots \quad 5.36$$

ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ

$$E_m = \frac{-13.6\ e.v}{m^2}$$

$$E_n = \frac{-13.6\ e.v}{n^2}$$

$1\ e.v = 1.6 \times 10^{-19}$ ಜೂಲ್‌ಗಳಾದರೆ

$$\lambda = \frac{6.62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}} \Big/ \left\{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right\} \text{ ಮೀಟರ್‌ಗಳು}$$

$$= 912.8 \times \frac{m^2 n^2}{m^2 - n^2} \times 10^{-10} \text{ ಮೀಟರ್}$$

$$= 912.8 \left(\frac{m^2 n^2}{m^2 - n^2}\right) A^\circ \left[\, 1\ A^\circ = 10^{-10} \text{ ಮೀಟರ್} \right] \quad 5.37$$

$m = 3,\ n = 2$ ಆದರೆ,

$\lambda = 912.8 \times \frac{36}{5} = 6572\ A^\circ$. ಇದು H_a ರೇಖೆಗೆ ಸರಿಹೋಗುತ್ತದೆ.

ಮೇಲಿನ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ $n=2$, $m=3$, 4, 5...ಆದರೆ

$$\lambda = 912\cdot8 \times 4 \cdot \frac{m^2}{m^2-4}$$

$$= 3651\cdot2 \cdot \frac{m^2}{m^2-4} \quad \ldots \quad 5.38$$

ಇದು ಹಿಂದೆಯೇ ಬಾಮರ್ ತಿಳಿಸಿದ ಸೂತ್ರವನ್ನೇ (5.31) ಹೋಲುತ್ತದೆ.

ಇದರ ಅರ್ಥವು ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು $m=3$, 4, 5,...... ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಪಥಗಳಿಂದ $n=2$ ಪಥಕ್ಕೆ ಧುಮುಕುವಾಗ, ವಿಕಿರಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಬಾಮರ್ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನೇ ಚಿತ್ರ (5.4) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಅದರಲ್ಲಿ B ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ರೇಖೆಗಳು ಬಾಮರ್ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳು 3, 4, 5...ರಿಂದ ಅಂತಿಮವಾಗಿ 2ನೆಯ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದರಿಂದ ಕ್ರಮವಾಗಿ H_α, H_β, H_γ ... ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ m, n ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಮೊದಲನೆಯ ಮತ್ತು ಕೊನೆಯ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ವರ್ತುಲ ಪಥಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತವೆ.

ಇದೇ ಅರ್ಥವನ್ನೇ ಮುಂದುವರೆಸಿದರೆ, ಜಲಜನಕದ ಇತರ ವರ್ಣಪಟಲಗಳಿಗೂ ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವವು ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು $n = 1$ ಪಥವನ್ನು ಅಂತಿಮವಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, $m=2$, 3, 4, ...ಪಥಗಳಿಂದ ಅಲ್ಲಿಗೆ ಧುಮುಕಿದರೆ, ಲೈಮಾನ್ (Lyman) ಶ್ರೇಣಿಯ ರೇಖೆಗಳು ಬರುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ L ಎಂದು ತೋರಿಸಿದೆ.

ಈ ಶ್ರೇಣಿಗೆ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಬದಲಾವಣೆ ಇರುತ್ತದೆ.

$$E_n = E_1 = \frac{-13\cdot6}{1^2}\, e\cdot v$$

$$E_m = E_2 = \frac{-13\cdot6}{2^2}\, \cdot e\cdot v$$

$$E_3 = \frac{-13\cdot6}{3^2}\, e.v$$

ಮೊದಲನೆಯ ಲೈಮಾನ್ ರೇಖೆಗೆ (L I) $\lambda = \frac{hc}{(E_2-E_1)} = 912\cdot8 \times \left(\frac{2^2\times1^2}{2^2-1^2}\right) A^\circ$

$$= \frac{912\cdot8\times4}{3} = 1216\ A^\circ \quad \ldots \quad 5\cdot39$$

ಹಾಗೆಯೇ L II ರೇಖೆಗೆ $\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_1} = 912{\cdot}8 \times \left(\frac{3^2 \times 1^2}{3^2 - 1^2}\right) A^\circ$

$$= \frac{912{\cdot}8 \times 9}{8} = 1027\ A^\circ$$

ಇವುಗಳಿಗೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆ ಇದೆ.

ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ರೇಖೆಗಳು ಪಾಷನ್ (Paschen) ಶ್ರೇಣಿಗೆ ಸೇರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಿಗೆ ಅಂತಿಮ ಮಟ್ಟವು $n=3$ ಪಥಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಗಳು $m=4, 5, 6\ldots$ ಆಗುತ್ತವೆ.

ಇದರ ಮೊದಲ ರೇಖೆಗೆ $n=3$, $m=4$

$$\lambda = 912{\cdot}8 \times \left(\frac{4^2 \times 3^2}{4^2 - 3^2}\right) A^\circ$$

$$= \frac{912{\cdot}8 \times 144}{7} = 18778 A^\circ \qquad \ldots \quad 5{\cdot}40$$

ಇದು ಅದೃಶ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಅಂದರೆ, ಕೆಂಪು ಅಂಚಿಗೆ ಬಹಳ ದೂರದಲ್ಲಿದೆ (infra-red). ಹೀಗಾಗಿ, ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ್ದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಸಮರ್ಥನೆಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಭೋರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯಿಂದ ಬಂದಿತು. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು.

(i) ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಬೀಜದ ಸುತ್ತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಕೆಲವೇ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಸುತ್ತಬಲ್ಲುವು. ಆ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದರಿಂದ ಶಕ್ತಿಕ್ಷಯವಾಗದೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಸುಭದ್ರತೆಯಿರುತ್ತದೆ.

(ii) ಶಕ್ತಿವಿಕಿರಣವಾಗಿ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟದ ಶಕ್ತಿ ಪಥದಿಂದ ಕೆಳಮಟ್ಟದ ಶಕ್ತಿ ಪಥಕ್ಕೆ ನೇರವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಬೇಕು.

(iii) ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಪಥದ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದರಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತದೆ.

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಬೆಳಕು ಒಂದು ಶಕ್ತಿಕಣ (photon) ದಂತೆ ವರ್ತಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಾಗ ಬೆಳಕು ಅಲೆಗಳ

ರೂಪದಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಇಲ್ಲ. ವ್ಯತಿಕರಣ, ನಮನ ಮುಂತಾದ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೆ ಅಲೆಗಳ ತತ್ತ್ವವೂ, ವರ್ಣಪಟಲದ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೆ ಶಕ್ತಿಕಣ (photon) ದ ತತ್ತ್ವವೂ ಅನ್ವಯುವಾಗುತ್ತವೆ. ಇದು ಬೆಳಕಿನ ದ್ವಿಮುಖ ವರ್ತನೆ (dual nature) ಯನ್ನು ವ್ಯಕ್ತಪಡಿಸುವಂತಾಯಿತು.

ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ : ಸಾಧ್ಯ ವಾದ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳ ನಡುವೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವಾಗ, ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣವೇ ಆಯಾ ರೇಖೆಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದರಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯ ಲಕ್ಷಣವೇ ಹೊರಬೀಳುವಂತಾಗುತ್ತದೆ.

5.8 ಉತ್ಕಟ ವಿಭವಗಳು – ಅನುರಣನ ಮತ್ತು ಅಯಾನೀಕರಣ ವಿಭವಗಳು (Critical Potentials – Resonance and Ionization Potentials)

ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳು ಶಕ್ತಿವಿಸರ್ಜನೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದೆಂದೂ, ಈ ವಿಸರ್ಜನೆಯು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟದ ಪಥದಿಂದ ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟದ ಪಥಕ್ಕೆ ಧುಮುಕುವುದರ ಪರಿಣಾಮವೆಂದೂ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದೇ ರೀತಿ ಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಂತರ್ಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಬೇಕಾದರೂ, ಹಂತಹಂತವಾಗಿಯೇ ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಗಳಿಗೆ ಏರಿಸಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಶಕ್ತಿವಿಸರ್ಜನೆ ಯಂತೆಯೇ, ಶಕ್ತಿಯ ಗ್ರಹಣ (absorption) ದ ವಿಧಾನವೂ ಕೂಡ ವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೇ (discontinuous) ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಇದಕ್ಕೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವೇ ಅನ್ವಯುವಾಗಬೇಕು. ಇದಕ್ಕೆ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವನ್ನೇ ಉದಾ ಹರಣೆಯನ್ನಾಗಿ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳೋಣ.

ಚಿತ್ರ (5.4) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ವಿವಿಧ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳನ್ನೇ ವಿಮರ್ಶಿಸ ಬಹುದು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ತನ್ನ ಸಾಸ್ಥ್ಯ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವಾಗ (ground orbit) $n = 1$ ಆಗಿ, ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟವು $E_1 = -13{\cdot}6$ ಎ ವೋಲ್ಟ್ (e.v.).

ಈ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಹೊರಗಿನಿಂದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ ಎಂದು ತಿಳಿಯೋಣ. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿ ಗಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಹಬೆಯ ಆವರಣದೊಳಗೆ ಹಾಯಿಸು ವುದರ ಮೂಲಕ ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಘರ್ಷಣೆ (collision)ಯಿಂದ ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು 1 ವೋಲ್ಟ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು

1 e.v. ಪ್ರಮಾಣದಿಂದ ವೃದ್ಧಿಹೊಂದುತ್ತದೆ. V ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷ ಹೊಂದಿದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು V (e.v.) ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ವಿಭವ (accelerating potential) V ಇಂದಲೇ ಅದರ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯಬಹುದು.

ಈಗ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸುಭದ್ರಪಥ ($n = 1$) ದಲ್ಲಿರುವ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷ ಹೊಂದಿದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (ಹೊರಗಿನ) ಕಣವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸೋಣ.

ಪೂರ್ವಭಾವಿಯಾಗಿ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯು $E_1 = -13{\cdot}6$ e.v.

ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ವಿಭವವನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ 1, 2, 3...ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಿಗೆ ಏರಿಸುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪರಮಾಣುವು ಗ್ರಹಣಮಾಡುವಂತಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ ಇದು ಸ್ಥಿತಿಸ್ಥಾಪಕ ಘರ್ಷಣೆ (elastic collision) ರೂಪದಲ್ಲಿದ್ದು, ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಅಂತರ್ಯ (internal) ಶಕ್ತಿಯು ಬದಲಾವಣೆಯಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ವಿಭವವು 10.2 ವೋಲ್ಟ್ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಇಡೀ ಶಕ್ತಿಯ (10.2 e.v.) ಪ್ರಮಾಣವು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಂತರ್ಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಏರಿಸುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅದರ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು $E_1 + 10{\cdot}2$ e.v. $= (-13{\cdot}6 + 10{\cdot}2) = -3{\cdot}4$ e.v. $= E_2$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು $n = 1$ ಪಥದಿಂದ $n = 2$ ಪಥಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಯಾವ ಮಟ್ಟವೂ ಇಲ್ಲ. $n = 2$ ಪಥದಲ್ಲಿರುವಾಗ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲ ಮಾತ್ರ ಅಲ್ಲಿ ಉಳಿದು ನಂತರ $n = 1$ ಪಥಕ್ಕೆ ಧುಮುಕುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಧುಮುಕುವಾಗ $(E_2 - E_1) = 10{\cdot}2$ e.v. ಶಕ್ತಿಯು ವಿಸರ್ಜನೆಯಾಗಿ ಇದರ ಫಲದಿಂದ ಒಂದು ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನೇ ನಾವು LI (ಲೈಮಾನ್ ಶ್ರೇಣಿಯ ಮೊದಲನೆಯ) ರೇಖೆಯೆಂದು ಗುರುತಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದ ಗ್ರಹಣವಾದ 10·2 e.v. ಶಕ್ತಿಯೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಪಥದ ಬದಲಾವಣೆಯಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾದ ಶಕ್ತಿಯೂ 10·2 e.v. ಆಗಿರುವುದರಿಂದ LI ರೇಖೆಯನ್ನು ಅನುರಣನ ರೇಖೆ (resonance line) ಯೆಂದೂ, 10.2 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳನ್ನು ಪ್ರಥಮ ಉತ್ಕಟ ವಿಭವ (first critical potential) ಎಂದೂ ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. 10.2 e.v. ಶಕ್ತಿಯ ಗ್ರಹಣದಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುವಾಗ, ಆ ಘರ್ಷಣೆಯನ್ನು ಅ–ಸ್ಥಿತಿಸ್ಥಾಪಕ (in-elastic

collision) ವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. 10.2 ವೋಲ್ಟ್ ಪ್ರಮಾಣವೇ ಮೊದಲನೆಯ ಹಂತ. ಅದಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪರಮಾಣುವು ಗ್ರಹಿಸುವ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಲ್ಲ. ಹಾಗೆಯೇ ಎರಡನೆಯ ಹಂತಕ್ಕೆ ಏರಿಸಬೇಕಾದರೆ, $(E_3 - E_2) = (3.4 - 1.51) = 1.89$ e.v. ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಹೊರಗಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವಾಗ 12.09 e.v. ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಆಗ, ಜಲಜನಕದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು $n = 1$ ಪಥದಿಂದ $n = 3$ ಪಥಕ್ಕೆ ಏರುತ್ತದೆ. ಆ ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲವಿದ್ದು $n = 2$, $n = 1$ ಪಥಗಳಿಗೆ ವಾಪಸಾಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆ ವಾಪಸ್ಸು ಬರುವಾಗ ಶಕ್ತಿ ವಿಸರ್ಜನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. $(E_3 - E_2)$ ಶಕ್ತಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ BI ಬಾಮರ್ ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬಹುದು. ಹಾಗೂ $(E_3 - E_1)$ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮಾನವಾದ L II ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ (5.4) ರಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.

ಹೀಗೆಯೇ ಮುಂದುವರೆಸಿದರೆ, E_4, E_5 ಮಟ್ಟಗಳು ಬರುತ್ತವೆ. ಅಂತಿಮವಾಗಿ E_∞ ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ $E_\infty = 0$. ಅಂದರೆ, ಇದನ್ನು ಮುಟ್ಟಬೇಕಾದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿಗೆ $(E_\infty - E_1) = 13.6$ e.v. ಶಕ್ತಿಯು ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ನಮ್ಮ ಉದಾಹರಣೆಯಲ್ಲಿ ಹೊರಗಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ವಿಭವವು 13.6 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳನ್ನು ಮುಟ್ಟಿದರೆ, ಇದರ ಘರ್ಷಣೆಯ ಫಲವಾಗಿ, ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಪಥವು $n = 1$ ಇಂದ $n = \infty$ಗೆ ಪರಿವರ್ತಿತವಾಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದ ಬಂಧನದಿಂದ ಮುಕ್ತಿ ಹೊಂದುತ್ತದೆಂದು ಅರ್ಥ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವು ತನ್ನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಂಡು ಕೇವಲ ಬೀಜವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಅಯನೀಕೃತ ಸ್ಥಿತಿ (ionized state) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಆಗ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಸಂಕೇತವು H' ಆಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ಥಿತಿಗೆ ತರಬೇಕಾದರೆ, ಹೊರಗಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷದ ವಿಭವವು 13.2 V ಆಗಬೇಕು. 13.2 V ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಅಯನೀಕರಣ ವಿಭವವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು (ionization potential). ಇದುವರೆವಿಗೂ ತಿಳಿಸಿರುವ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳನ್ನೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಸಮರ್ಥಿಸಲಾಗಿದೆ. ಫ್ರಾಂಕ್, ಹರ್ಟ್ಜ್, ಡೇವಿಸ್ ಗೂಷರ್ (Davis Goucher) ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧಕರ ಪರಿಶ್ರಮದ ಫಲವಾಗಿ, ಹಲವಾರು ಅನಿಲಗಳೂ (ಗಾಳಿ, ಜಲಜನಕ ಇತ್ಯಾದಿ), ಪಾದರಸದ ಹಬೆಯೂ ಕೂಡ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿವೆ. ಅವುಗಳಿಂದ ಆಯಾ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಉತ್ಕಟ ವಿಭವಗಳೂ, ಅಯನೀಕರಣ ವಿಭವಗಳೂ ಅಳೆಯಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಶಕ್ತಿಯ ಗ್ರಹಣ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆ– ಇವೆರಡು ವಿಧಾನಗಳು ವಿಚ್ಛಿನ್ನರೀತಿಯಲ್ಲಿ, ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ನಡೆಯುತ್ತವೆಯೆಂದು ಖಚಿತವಾಗಿ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಗಿದೆ.

5.9 ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಪರಿಣಾಮ (Compton Effect)

ಇದುವರೆವಿಗೂ, ಬೆಳಕಿನ ವರ್ಣಪಟಲಕ್ಕೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೂ ಇರುವ ನಿಕಟ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತಿಳಿಯಲಾಯಿತು. X-ಕಿರಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆ (scattering of X-rays)ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅಮೆರಿಕನ್ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿ ಎ.ಹೆಚ್. ಕಾಂಪ್ಟನ್ (A. H. Compton) ಒಂದು ಹೊಸ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಈತನು 1923ರಲ್ಲಿ X-ಕಿರಣಗಳು ಇಂಗಾಲ (carbon) ದಿಂದ ಚದರಿಸಲ್ಪಡುವಾಗ, ತರಂಗಾಂತರ ವ್ಯತ್ಯಾಸ (change in wave-length) ವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆಂಬು ದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಿದನು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಅವನಿಗೆ 1927ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕವೂ ಲಭಿಸಿತು.

X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಬೆಳಕಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನೂ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವ ಫೋಟಾನ್ ಎಂಬ ಶಕ್ತಿಕಣದಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಈ ಕಿರಣಗಳು ಇಂಗಾಲದ ಒಂದು ಗಟ್ಟಿ (carbon block) ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗವಾಗುವಂತೆಮಾಡಿ, ಅದರಿಂದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ಚದರಿಸಲ್ಪಡುವ X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿ ಅವುಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ಅಳೆಯಲಾಯಿತು.

ಮೂಲಕಿರಣಗಳ ತರಂಗಾಂತರವು λ ಆಗಿಯೂ, θ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಚದರಿಸಲ್ಪಡುವ ಕಿರಣಗಳ ತರಂಗಾಂತರವು λ^1 ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ,

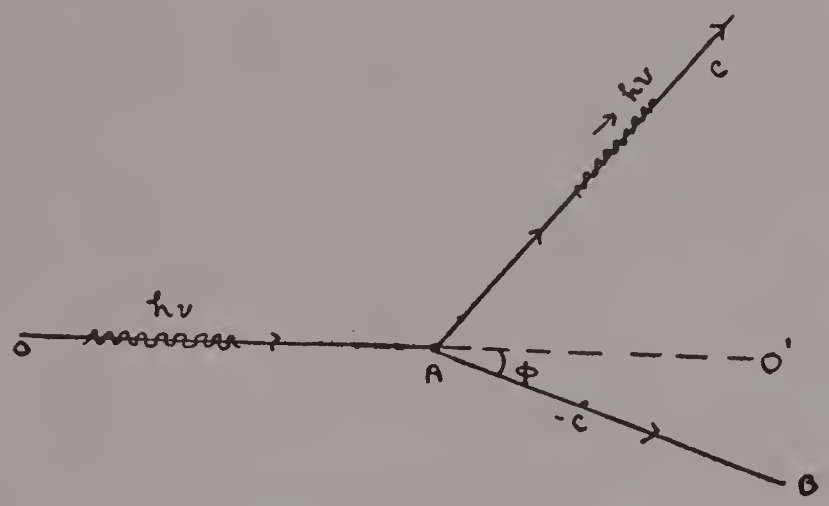
$$(\lambda^1 - \lambda) = \frac{h}{m_o\, c}(1 - \cos\theta) \qquad \ldots \quad 5.41$$

ಎಂಬ ಮುಖ್ಯವಾದ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಇಲ್ಲಿ $h=$ ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನಿಯತಾಂಕವೂ, m_o = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಸ್ಥಾಯೀ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (Rest-mass) ವೂ, c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವೂ ಆಗಿರುತ್ತವೆ. $\phi = 90°$ ಆದರೆ,

$$(\lambda^1 - \lambda) = \frac{h}{m_0 c} = 2.43 \times 10^{-12} \text{ ಮೀಟರ್ } = 0.0243 A° \qquad \ldots \quad 5.42$$

ಚದರಿಸುವ ವಸ್ತುವು ಯಾವ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಲಿ, ಈ ಪ್ರಮಾಣವು ಅವು ಗಳಿಗೆಲ್ಲ ಅನ್ವಯುವಾಗುತ್ತದೆ. ಅದನ್ನು ಕಾಂಪ್ಟನ್ ತರಂಗಾಂತರವೆಂದು ಕರೆಯ ಲಾಗಿದೆ.

ಈ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಸಾಧಿಸಲು, ಕಾಂಪ್ಟನ್, ಕ್ವಾಂಟಂ ಮತ್ತು ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳನ್ನೂ X–ಕಿರಣ ಫೋಟಾನ್‌ಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿದನು. ಇದನ್ನು X – ಫೋಟಾನ್‌ಕಣಕ್ಕೂ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೂ ನೇರವಾಗಿಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವುದರ ಪರಿಣಾಮವೆಂದು ತೋರಿಸಲಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಚಿತ್ರ (5.5)ರಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 5.5 ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ

OA ನೇರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಒಂದು X– ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು (hν) A ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ (ಚದರಿಸುವ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿರುವ)ರುವ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (–e) ಕಣವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, A C ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು ($h\nu^1$) ಚದರಿಸಲ್ಪಟ್ಟು, AB ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣವು v ವೇಗದಿಂದ ಹಿಮ್ಮೆಟ್ಟುತ್ತದೆ (recoils).

$$CAO^1 = \phi \ ; \ O^1AB = \phi$$

ಈ ಘರ್ಷಣೆಯಲ್ಲಿ ಮೊದಲು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ನಿಶ್ಚಲವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದೆ.

ಈ ಘರ್ಷಣೆಯಲ್ಲಿ ಆಗುವ ಆವೇಗ (momentum) ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ (energy) ಗಳ ವಿನಿಮಯವು ಸಾಮಾನ್ಯ ಸೂತ್ರಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ (ನಿತ್ಯತ್ವ ತತ್ತ್ವ) ನಡೆಯುತ್ತದೆ. X– ಫೋಟಾನ್ ಒಂದು ಕಣದಂತೆ ಭಾವಿಸಿದರೆ

ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು hν (ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ).

ಆವೇಗ hν/c (ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ).

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಅದರ ಸ್ಥಾಯೀ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು m_o ಆಗಿದ್ದು A B ನೇರದಲ್ಲಿ v ವೇಗದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ, ಈ ವೇಗವು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವುದರಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು m ಆಗಿ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ.

ಇಲ್ಲಿ $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ (ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ)

... 5.43

ಮತ್ತು A B ನೇರದಲ್ಲಿ ಅದರ ಚಲನಶಕ್ತಿಯು

$\frac{1}{2}mv^2$ ಆಗುತ್ತದೆ.

ಇವುಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ,

ಶಕ್ತಿಯ ನಿಯತತ್ವದ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ,

$$h\nu = h\nu^1 + \frac{1}{2} mv^2 \qquad \ldots \quad 5.44$$

$$= h\nu^1 + \frac{1}{2} \times \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} v^2$$

ಆವೇಗಗಳ ನಿಯತತ್ವದ ನಿಯಮವನ್ನು Ao^1 ನೇರದಲ್ಲಿಯೂ, ಅದಕ್ಕೆ ಲಂಬದ ನೇರದಲ್ಲಿಯೂ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕು. ಆಗ,

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu^1}{c} \times \text{Cos}\ \theta + mv\ \text{Cos}\ \phi.$$

$$\frac{h\nu^1}{c} \text{Sin}\ \theta = mv\ \text{Sin}\ \phi \qquad \ldots \quad 5.45$$

ಇಲ್ಲಿ $\nu = \frac{c}{\lambda}$; $\nu^1 = \frac{c}{\lambda^1}$ ಎಂದು ತಿಳಿದು, ಮೇಲೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಮೂರು ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ

$$(\lambda^1 - \lambda) = \frac{h}{m_o c} \ (1 - \text{Cos}\ \theta) \qquad \ldots \quad 5.46$$

ಸೂತ್ರವು ಬರುತ್ತದೆಂದು ತೋರಿಸಬಹುದು.

ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿ ಮಾಡಲಾದ ಹಲವಾರು ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಮೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, ಅವುಗಳ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕ್ರೋಢೀಕರಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಮೇಲೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಸಮೀಕರಣವು ನಿಃಸಂಶಯುವಾಗಿಯೂ, ಖಚಿತವಾಗಿಯೂ ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಈ ಒಂದು ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ, ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತವೂ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಸಮರ್ಥಿಸಲ್ಪಟ್ಟುವು. ಇದೇ ಈ ಸಮೀಕರಣದ ಮಹತ್ವ.

5.10 ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ

ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯೆಂದರೇನು ಮತ್ತು ಅದರ ಲಕ್ಷಣಗಳೇನು ಎಂಬುದನ್ನು ವಿಶದವಾಗಿ ಹಿಂದೆ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈಗ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ಪ್ರಗತಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಮೈಲಿಗಲ್ಲಾಗಿದೆ ಎಂಬ ವಿಷಯವನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟಪಡಿಸಬೇಕಾಗಿದೆ.

1887 ರಲ್ಲಿ ಹರ್ಟ್‌ಜ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದನು. ನಂತರ ಲೆನಾರ್ಡ್, ರಿಚರ್ಡ್‌ಸನ್, ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಮೊದಲಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಇವುಗಳ ಮುಖ್ಯ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಹೀಗೆ ಇರುತ್ತವೆ.

(i) ಅತಿನೀಲ ಅಥವಾ ದೃಶ್ಯ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ರುಬಿಡಿಯಂ, ಸೀಸಿಯಂ, ಪೊಟಾಸಿಯಂ ಮುಂತಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಲೇಪಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಮೇಲ್ಮೈಗಳ ಮೇಲೆ ಬೀಳಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳಿಂದ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಹೊರಗಿನ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವುದನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಮಾಪಕಗಳ ಮೂಲಕ ಅಳೆಯಬಹುದು.

(ii) ಈ ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ–ಅಂದರೆ, ಬೆಳಕಿನಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವುದರಲ್ಲಿ ಯಾವ ಕಾಲವಿಳಂಬವೂ ಇಲ್ಲ. ಅಂದರೆ ಅದು 10^{-8} ಸೆಕೆಂಡ್‌ಗಳಿಗಿಂತ ಕಡಮೆಯೆಂದೇ ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಗಮನಾರ್ಹವಲ್ಲ.

(iii) ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭೆಯ ತೀವ್ರತೆ (intensity) ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ, ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಪ್ರಮಾಣವೂ ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಇದಕ್ಕೂ ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವೂ ಇಲ್ಲ.

(iv) ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗ ದೂರವು ಕಡಿಮೆಯಾದಂತೆಲ್ಲ, ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಚಲನವೇಗ ಅಥವಾ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ.

(v) ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯಕ್ಕಿಂತ ಕಡಿಮೆಯಾದರೆ, ಕ್ರಿಯೆಯು ಸಂಭವಿಸಲಾರದು. ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಈ ಕನಿಷ್ಠ ಮಿತಿಯನ್ನು ಹೊಸ್ತಿಲ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (threshold frequency) –ν_0– ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಈಗ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಿದ್ಧವಾದ ಈ ಎಲ್ಲ ಅಂಶಗಳಿಗೂ ಸಮಂಜಸವಾದ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡಲು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕವಾದ ಬೆಳಕಿನ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಅಸಮರ್ಥವಾಯಿತು. ಇದು ಹೇಗೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಈಗ ತಿಳಿಯ ಬಹುದು.

(1) ಬೆಳಕನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳು ಹೊರಸೂಸುವ ವಸ್ತುವಿನ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನೂ ಆವರಿಸಬೇಕು. ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಇಡೀ ತರಂಗ ಮುಖ (wave-front) ದ ಮೇಲೆ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ವಾಗಿ ಹರಡಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಯಾವುದೇ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಮಾತ್ರ ಕ್ರಿಯೆ ಯಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡುವುದು ಎಂಬುದಕ್ಕೆ ಅರ್ಥವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಒಂದು ಮೇಲ್ಮೈಯ ಮೇಲೆ ಹತ್ತಾರು ಕೋಟಿ ಪರಮಾಣು ಗಳು ಇರುವಲ್ಲಿ, ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದನ್ನು ಮಾತ್ರ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ.

(2) ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಗಿ ರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭೆಯು ಹೆಚ್ಚಿದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ಕ್ಷೇತ್ರ ಬಲವೂ ಹೆಚ್ಚಿ, ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯೂ ವೃದ್ಧಿಹೊಂದಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಮೇಲೆ ಹೇಳಿರುವಂತೆ, ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ, ಈ ಅಲೆಗಳ ತತ್ತ್ವವು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ವಿರುದ್ಧವಾಗಿದೆ.

(3) ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದ ಪ್ರಕಾರ, ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನಿಂದಲೇ ಉದ್ಭವವಾಗಬೇಕು. ಹಾಗಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ ಪರ ಮಾಣುವು ಆ ಬೆಳಕಿನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡಿ ಅದರ ಬಹುಭಾಗವನ್ನು ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಕೊಡಬೇಕು. ಆದರೆ, ಅಲೆಗಳ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಶಕ್ತಿಗ್ರಹಣವಾಗ ಬೇಕಾದರೆ, ಹಲವಾರು ಘಂಟೆಗಳು ಅಥವಾ ದಿನಗಳೇ ಬೇಕಾದೀತು ! ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಬರುವುದೇನೆಂದರೆ, ಕ್ರಿಯೆಯು ತತ್‌ಕ್ಷಣದಲ್ಲಿಯೇ (instantaneously) ಯಾವ ಕಾಲವಿಲಂಬವೂ ಇಲ್ಲದೆ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದಲೂ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಅಲೆಗಳ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತಿಲ್ಲ.

(4) ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಬರುವ ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಹೊಸ್ತಿಲ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ವಿವರಣೆಯಂತೂ ಅಲೆಗಳ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ವಿರುದ್ಧವಾದುದು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಅಲೆಗಳ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ನೇರವಾದ ವಿರೋಧವುಂಟಾಯಿತು. ಈ ಬಿಕ್ಕಟ್ಟನ್ನು ಪರಿಹರಿಸುವುದಕ್ಕಾಗಿಯೇ 1905 ರಲ್ಲಿ

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಅಲೆಗಳ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಕೈಬಿಟ್ಟು ಅದಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿಯಾಗಿ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ತಳಹದಿಯಮೇಲೆ ತನ್ನ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾದ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ರಚಿಸಿದನು.

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಈ ಸಮೀಕರಣದ ರೂಪವು ಹೀಗಿದೆ.

$$h\nu = w + \tfrac{1}{2}mv^2$$
$$= h\nu_o + \tfrac{1}{2}mv^2 \qquad \ldots \quad 5.47$$

ಈ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ, ಆಪಾತ ಬೆಳಕು ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಅದು ಪ್ರಭಾಣು (photon) ಅಥವಾ ಶಕ್ತಿಕಣಗಳ ಸಮೂಹದಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ.

ಈ ಬೆಳಕಿನ ಒಂದು ಪ್ರಭಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣವು $h\nu$. ಇದರಲ್ಲಿ h = ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ. ν = ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ. ಬೆಳಕು ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ವಸ್ತು (ಸೀಸಿಯಂ ಅಥವಾ ಪೊಟಾಸಿಯಂ) ವಿನ ಮೆಲ್ಮೈಯಮೇಲೆ ಬಿದ್ದರೆ, ಪ್ರಭಾಣುವಿಗೂ ವಸ್ತುವಿನ ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ಘರ್ಷಣೆಯಾಗಿ, ಆ ಪರಮಾಣುವು ಪ್ರಭಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಗ್ರಹಣಮಾಡುತ್ತದೆ. ಅದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಆ ಶಕ್ತಿಯು ಪರಮಾಣುವಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ವರ್ಗಾಯಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಈ ಶಕ್ತಿಯ ಸ್ವಲ್ಪಭಾಗವು (w) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ಬಂಧಮುಕ್ತಿಗೆ ವ್ಯಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಉಳಿದ ಭಾಗವು ಆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಹೊಂದಿರುವ ಚಲನಶಕ್ತಿ ($\tfrac{1}{2}mv^2$) ಯಾಗಿ ಪರಿಣಾಮವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದ ಹೊಸ ಅರ್ಥ.

ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗಾಂತರವು ಕಡಮೆಯಾದರೆ, ಅದರ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು (ν) ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣ ($h\nu$) ವೂ ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಚಲನಶಕ್ತಿಯೂ ($\tfrac{1}{2}mv^2$) ಹೆಚ್ಚಾಗಲೇಬೇಕು.

ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭೆಯು ಹೆಚ್ಚಾದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪ್ರಭಾಣುಗಳು ಇದ್ದು ಅವುಗಳು ಹೊರದೂಡುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯೂ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ ಹೆಚ್ಚಾಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಶಕ್ತಿ ಪ್ರವಾಹದ (photoelectric current) ಮೌಲ್ಯವು ಹೆಚ್ಚಾಗಲೇಬೇಕು. ಇದೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆ ಹೊಂದಿದೆ. ಕೊನೆಯದಾಗಿ, ಆಪಾತ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಇದನ್ನೂ ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಸಾಧಿಸಬಹುದು.

ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು 0 ಆದರೆ, $h\nu = w = h\nu_0$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ $\nu_0 = \frac{w}{h} = \nu_{min}$ = ಹೊಸ್ತಿಲ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ, ಎಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. 5.48

ಇದುವರೆವಿಗೆ, ಈ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಅರ್ಥ ಬಂದಂತಾಯಿತು.

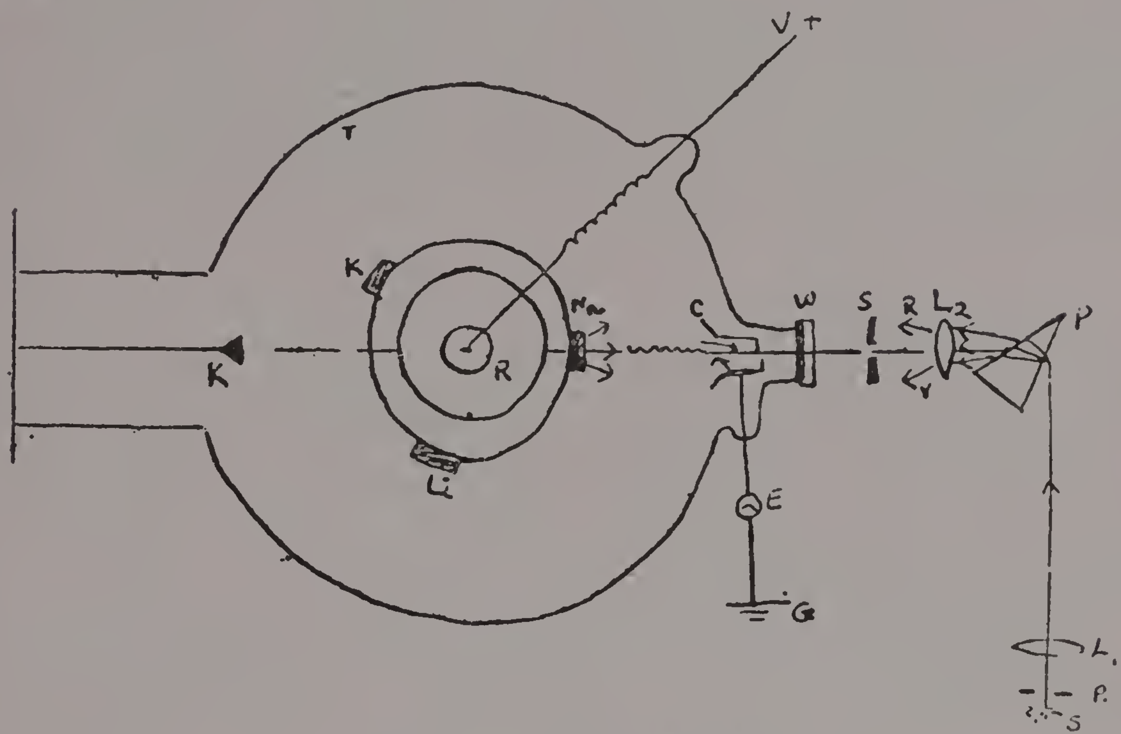
ಆದರೆ, ಇದರ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆಯು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಅಂಕಿ ಅಂಶಗಳ ಅಳತೆಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಡಬೇಕು. ಈ ಸ್ಥಿರೀಕರಣೆಯು ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಉಂಟಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಎರಡು ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕಗಳು ಲಭಿಸಿದಂತಾಯಿತು. ನಿರೂಪಣೆಗಾಗಿ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್‌ಗೆ 1921 ರಲ್ಲೂ ಸಮರ್ಥನೆಗಾಗಿ ಮಿಲ್ಲಿಕನ್‌ಗೆ 1923 ರಲ್ಲೂ ಬಹುಮಾನಗಳು ದೊರಕಿದುವು.

5.11 ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಪ್ರಯೋಗ – h – ನಿಯತಾಂಕದ ಮೌಲ್ಯನಿರ್ದೇಶನ

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ 'h' ನಿಯತಾಂಕವು ಆಧುನಿಕ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿದೆ. ವಸ್ತುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಪ್ರಮುಖವಾಗಿದ್ದು ಅದನ್ನು ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ನಿಯತಾಂಕ ವೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. 1901 ರಲ್ಲಿ ಪ್ಲಾಂಕ್ ಇದನ್ನು ಮೊದಲು ಪ್ರಚುರ ಪಡಿಸಿದರೂ, 1912 ರಲ್ಲಿ ಹ್ಯೂಗ್ಸ್, ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಮತ್ತು ರಿಚರ್ಡ್‌ಸನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ, ಪ್ರಭಾವಿದ್ಯುತ್‌ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಅವುಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆಂಬುದು ತಿಳಿಯಬಂದಿತು. ನಂತರ, ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಸಾಧಿಸಿದನು. ಹಾಗೂ, ಅವನ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದಲೇ, 'h' ನಿಯತಾಂಕದ ಮೌಲ್ಯವು ನಿರ್ಧರಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (ν), ಕ್ರಿಯಾಫಲನ (w), ಮತ್ತು ಚಲನ ಶಕ್ತಿ ($\frac{1}{2}mv^2$) ಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅಳೆಯುವ ಅವಶ್ಯಕತೆಯಿದೆ. ಚಿತ್ರ (5.6) ರಲ್ಲಿ ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಪ್ರಯೋಗದ ರಚನೆಯು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. S ಎಂಬ ಮೂಲ ಸ್ಥಾನದಿಂದ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಟು, A ನಲ್ಲಿರುವ ರಂಧ್ರದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು P ಎಂಬ ಬೆಣಚು ಮುಪ್ಪಟ್ಟೆ (quartz prism) ಯಲ್ಲಿ R,...v ಎಂಬ ವರ್ಣರೇಖೆಗಳಾಗಿ ವಿಶ್ಲೇಷಣ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ನಂತರ, ಈ ವಿವಿಧ ವರ್ಣರೇಖೆಗಳು S ಎಂಬ ತೆರೆಯಮೇಲೆ ಸಂಗಮವಾಗುತ್ತವೆ. ಅದರಲ್ಲಿರುವ ಸಣ್ಣ ರಂಧ್ರದ

ಮೂಲಕ ನಮಗೆ ಬೇಕಾದ ವರ್ಣರೇಖೆಯನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿ, ಅದನ್ನು ಮುಂದಕ್ಕೆ ಬಿಡಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಮೂಲ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನಸಂಖ್ಯೆ (ν) ಯನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 5.6 ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಉಪಕರಣ

ಹೀಗೆ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು w ಎಂಬ ಬೆಣಚುದ್ವಾರ (quartz window)ದ ಮೂಲಕ T ಎಂಬ ನಿರ್ವಾತ ಆವರಣವನ್ನು (evacuated chamber) ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರೊಳಗೆ R ಎಂಬ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಚಕ್ರವಿದೆ. ಇದರ ಹೊರ ಮೈಯಮೇಲೆ, Na, Li, K ಎಂಬ ಮೂರು ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ತಯಾರಾದ ಫಲಕಗಳು (blocks) ಅಳವಡಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಇವುಗಳ ಹೊರ ಮೈಯ ಮೇಲೆ ದೋಷರಹಿತ ಲೋಹದ ಭಾಗಗಳು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಲು ಅವುಗಳನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ K ಎಂಬ ಚೂರಿ (knife)ಗೆ ಸಂಪರ್ಕ ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಿರುತ್ತದೆ. ಅದರಿಂದ ಮೇಲ್ಮೈಯನ್ನು ಹದಪಡಿಸಿದ ಮೇಲೆ ಆ ಲೋಹದ ಭಾಗವನ್ನು 180° ಕೋನದ ಮೂಲಕ ತಿರುಗಿಸಿ, ನೇರಾಗಿ, ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಎದುರಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು.

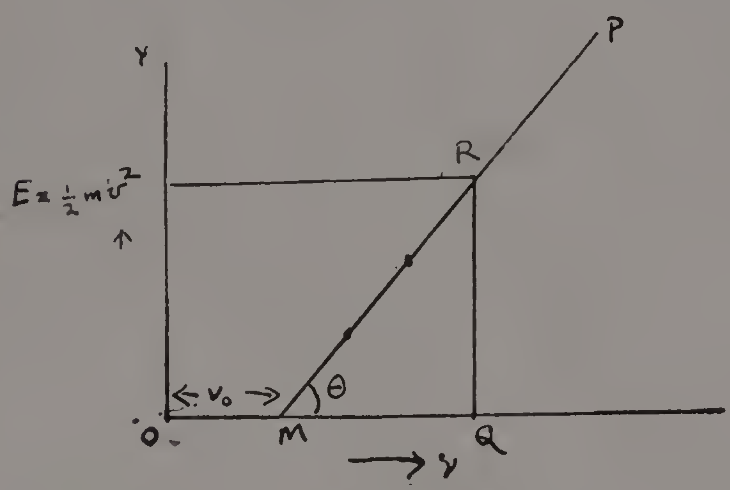
ಈಗ ಲೋಹದ ಮೇಲ್ಮೈಯಮೇಲೆ ಆಘಾತವಾಗುವ ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಪ್ರಭಾವಿದ್ಯುತ್ (photo-electric) ಕಣಗಳನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ, ಅವುಗಳ ಚಲನಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯಬೇಕು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ, ಈ ಕಣಗಳನ್ನು C ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಲೋಹ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿ (cylinder)ಯಲ್ಲಿ ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ, ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು E ಎಂಬ ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕ (electrometer) ದಿಂದ ಅಳೆಯಲಾಯಿತು. ಲೋಹದ ಫಲಕಕ್ಕೆ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ V+

ಎಂಬ ಒಂದು ಧನವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ(positive potential)ವನ್ನು ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, ಅದರಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳನ್ನು ಕಡಮೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಆ ವೋಲ್ಟೇಜಿನ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಏರಿಸಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ವಿಸರ್ಜನೆಯನ್ನೇ ತಡೆಗಟ್ಟಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಆ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿದರೆ, ಯಾವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ C ಸ್ತಂಭಾಕೃತಿಯನ್ನು ತಲುಪುವಂತಿಲ್ಲ. ಈ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಅಳೆದು ಅದನ್ನು V ಎಂದು ನಿರ್ದೇಶಿಸಿದರೆ,

$$Ve = \frac{1}{2} mv^2 \quad \ldots \quad 5.48$$

ಇಲ್ಲಿ $\frac{1}{2} mv^2 =$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಚಲನಶಕ್ತಿ. $e =$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶ V ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಲ್ಲಿಯೂ, e ಕೂಲಾಂಬ್ ಮಾನದಲ್ಲಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, $\frac{1}{2} mv^2$ ಜೂಲ್‌ಗಳಲ್ಲಿರುವುದು. [ಇದು M-K-S ಪದ್ಧತಿಯಲ್ಲಿದ್ದು m ಕಿ.ಗ್ರಾಂ. ಮಾನದಲ್ಲಿಯೂ, v ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್‌ನಲ್ಲಿಯೂ ಇರಬೇಕು].

ಇದಾದನಂತರ, ಇದೇ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ವರ್ಣ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ v ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದು ν ಮೌಲ್ಯಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವ Ve ($= \frac{1}{2} mv^2$) ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಅಳೆಯಬೇಕು. ಹೀಗೆ Ve, ν ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಅವುಗಳ ಸಂಬಂಧ ರೇಖೆಯನ್ನು ನಕ್ಷೆ (graph) ಯಲ್ಲಿ ಎಳೆಯಬೇಕು. ಇದು ಚಿತ್ರ (5.7) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಒಂದು ಸರಳ ರೇಖೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 5.7 ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ

MP ಎಂಬುದು ಈ ಸರಳ ರೇಖೆಯಾಗಿದ್ದು ಅದು OX ಅಕ್ಷವನ್ನು M ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಧಿಸಿದರೆ, $OM = \nu_0$.

ಈ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ $h\nu_0 = w =$ ಕ್ರಿಯಾಫಲನ (work function).

ν_0 ಎಂಬುದೇ ಆ ಲೋಹಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಹೊಸ್ತಿಲ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (threshold frequency). ಸಾಮಾನ್ಯ ಲೋಹಗಳಿಗೆ, ಈ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ನೀಲಾತೀತ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಕ್ಷಾರ ಲೋಹಗಳಿಗೆ (alkali metals) ಇದು ದೃಶ್ಯ ಅಥವಾ ರಕ್ತಾತೀತ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ.

ಈಗ ಮೇಲಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ರೇಖೆಯಲ್ಲಿರುವ R ಬಿಂದುವಿನಿಂದ RQ, RŻ ರೇಖೆಗಳನ್ನು OX, OYಗಳಿಗೆ ಲಂಬವಾಗಿ ಎಳೆದರೆ

$$MQ = \nu - \nu_0$$
$$QR = \tfrac{1}{2} m v^2 = OZ$$
$$\frac{RQ}{MQ} = \frac{\frac{1}{2} mv^2}{\nu - \nu_0}$$

ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ $h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2} mv^2$

$$\therefore \quad h(\nu - \nu_0) = \tfrac{1}{2} mv^2$$
$$h = \frac{\frac{1}{2} mv^2}{\nu - \nu_0} \qquad \ldots \quad 5{\cdot}49$$

ಆದ್ದರಿಂದ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, $\dfrac{RQ}{MQ} = \dfrac{\frac{1}{2} mv^2}{\nu - \nu_0} = h$ ... 5.50

ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳನ್ನು ಅವುಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಮಾನಗಳಲ್ಲಿ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದರೆ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿರುವ ನಿರೂಪಣೆಯಿಂದ h ನಿಯತಾಂಕವನ್ನು ನಿಖರವಾಗಿ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬಹುದು.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಮಾಡಿದ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಮೌಲ್ಯವು ಹೀಗಿದ್ದಿತು.

$$h = 6{\cdot}56 \times 10^{-34} \text{ ಜೂಲ್. ಸೆಕೆಂಡ್}$$

ಇತ್ತೀಚಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ $h = 6{\cdot}62 \times 10^{-34}$ ಜೂಲ್. ಸೆಕೆಂಡ್. ದೃಶ್ಯಪಟಲದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ ಸುಮಾರು 6×10^{14} ($\lambda = 5000A^\circ$) ಕಂ/ಸೆಕೆಂಡ್ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಇದರ ಒಂದು ಪ್ರಭಾಣು (photon) ವಿನ ಶಕ್ತಿಯು $h\nu = 6{\cdot}62 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14} = 3{\cdot}972 \times 10^{-19}$ ಜೂಲ್ ಆಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಒಂದು ಜೂಲ್ ಕೆಲಸವನ್ನು ಮಾಡಲು ಸುಮಾರು $2{\cdot}5 \times 10^{18}$ ಫೋಟಾನ್‌ಗಳು ಬೇಕು. ... 5.51

ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ, ಒಂದು ಫೋಟಾನ್, ಲೋಹದ ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ವಿಸರ್ಜಿಸುವಾಗ, ಸಂಪೂರ್ಣ ನಾಶವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು X ಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಪಾದನ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ವ್ಯತಿರಿಕ್ತವಾಗಿದೆ. X ಕಿರಣಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆಯಲ್ಲಿ, ಅತಿವೇಗದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಲೋಹದ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಆಘಾತ ಮಾಡಿ ಅದರಿಂದ ತಡೆಯಲ್ಪಡುವಾಗ, ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಒಂದು ಫೋಟಾನನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುತ್ತದೆ.

ಇದುವರೆವಿಗೂ, ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಉದ್ಭವಿಸಿದ್ದ ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಉತ್ತರಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ಕೊಟ್ಟು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ರೂಪರೇಖೆಗಳನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಉಷ್ಣ ಮತ್ತು ಬೆಳಕಿನ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯ ರೂಪವನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಕೈಬಿಡಬೇಕಾಯಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಪ್ಲಾಂಕ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಅನ್ವಯ ಮಾಡಿದರೆ, ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಸಮಂಜಸವಾದ ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡಬಹುದೆಂದು ತಿಳಿದು ಬಂದಿತು. ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಮೂರು ಪ್ರಮುಖ ಘಟ್ಟಗಳನ್ನು ಮುಟ್ಟಿಸಿದ ಪ್ಲಾಂಕ್, ಭೋರ್ ಮತ್ತು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪ್ರಯೋಗ ಮತ್ತು ತತ್ತ್ವಗಳ ಸಮನ್ವಯ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗಿದೆ.

ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳು ಮತ್ತು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕು ಒಂದು ಫೋಟಾನ್ ಎಂಬ ಶಕ್ತಿ ಕಣದಂತೆ ವರ್ತಿಸಬೇಕೆಂದು ನಿಶ್ಚಯವಾಯಿತು. ಅಲೆಯ ರೂಪವನ್ನು ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಬೆಳಕು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುವಂತಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ವ್ಯತಿಕರಣ, ನಮನ, ಧ್ರುವೀಕರಣಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಬೆಳಕು ಅಲೆಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಬೇಕೆಂಬ ತತ್ತ್ವವು ಹಾಗೆಯೇ ಉಳಿಯಿತು. ಅಂದರೆ ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿ ಈ ಎರಡು ಮುಖಗಳು (ಅಲೆ, ಕಣ) ಸ್ವಭಾವಜನ್ಯವಾದಂತೆ ತೋರಬಹುದು. ಆದರೆ ಈ ಎರಡು ಪ್ರವೃತ್ತಿಗಳನ್ನೂ ಸಮನ್ವಯ ಮಾಡುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯೂ ಮುಂದಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಈ ವಿಷಯವನ್ನೇ ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರವೆಂಬ ಹೊಸ ಶಾಖೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಿದೆ.

ಅದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಿಂದ ಎಷ್ಟರಮಟ್ಟಿಗೆ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಗತಿ ಹೊಂದಲಾಗಿದೆ ಎಂಬ ವಿಚಾರವನ್ನು ವಿಶದಪಡಿಸುವ ಅವಶ್ಯಕತೆಯಿದೆ.

6. ಪರಮಾಣುವಿನ ವರ್ಣಪಟಲದ ರಚನೆ

6.1 ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವದ ವಿಶಾಲವ್ಯಾಪ್ತಿ

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಭೋರ್‌ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಒಂದು ನವೀನ ರೀತಿಯ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟುದನ್ನು ತಿಳಿಸಿದ್ದೇವೆ.

ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣವು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಿರವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಒಂದು ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ನಿಯಂತ್ರಿತವಾದ ವಿಶಿಷ್ಟ ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತಲು ಅವಕಾಶವಿದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಿದೆ. ಒಂದೊಂದು ವೃತ್ತವನ್ನೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯಿಂದ ನಿರ್ದೇಶಿಸಿದರೆ, ಈ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು 1, 2, 3, 4...ಎಂಬ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರಬಹುದು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣವು ಯಾವುದೇ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವಾಗ, ಅದರ ಶಕ್ತಿಗೆ ಒಂದು ನಿಯತ ಮೌಲ್ಯವಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯ ಒಂದು ವೃತ್ತದಿಂದ ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯ ಮತ್ತೊಂದು ವೃತ್ತಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವಾಗ ಮಾತ್ರ, ಆ ಶಕ್ತಿಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಸಮಾನ ಮೌಲ್ಯವುಳ್ಳ ಶಕ್ತಿಯು ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದಿ, ಇದೇ ಒಂದು ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ಕಾಣುತ್ತದೆ.

ಈ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಯ ತರಂಗ ಸಂಖ್ಯೆಯು $\bar{\nu}$ ಆದರೆ,

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} (\nu = \text{ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ}; \ \bar{\nu} = \text{ತರಂಗ ಸಂಖ್ಯೆ}) \quad \ldots \quad 6.1$$

E_{n1}, E_{n2} ಗಳು, n_1, n_2 ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ವೃತ್ತಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಶಕ್ತಿಮೌಲ್ಯಗಳಾದರೆ

$$\nu = \frac{E_{n1} - E_{n2}}{h}$$

$$\therefore \bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{E_{n1} - E_{n2}}{hc}$$

ಆದರೆ, $E_{n1} = -\dfrac{2\pi^2 m.e^4 k^2}{n_1^2 h^2}$ (5.26)

$$E_{n2} = -\frac{2\pi^2 m.e^4 k^2}{n_2^2 h^2}$$

$$\therefore \bar{\nu} = \frac{2\pi^2 m e^4 k^2}{h^3 c}\left\{\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right\}$$ ಇಲ್ಲಿ $n_1 > n_2$

$$= R_H \left\{\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right\}$$

ಇಲ್ಲಿ R_H = ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ರಿಡ್‌ಬರ್ಗ್ ನಿಯತಾಂಕ ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

$$R_H = \frac{2\pi^2 me^4 k^2}{h^3 c} \qquad \ldots \quad 6.2$$

ಬಲಗಡೆಯ ಪದಗಳಿಗೆ ನಮಗೆ ಗೊತ್ತಿರುವ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದರೆ (ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿವರಿಸಿದೆ).

$R_H = 1.097 \times 10^7$ (ಮೀಟರ್)$^{-1}$ ... 6.3

ಇದರಿಂದ ಬಾಮರ್‌ರೇಖೆ H_2 ಯ $\bar{\nu}$ ಮೌಲ್ಯವು

$$\bar{\nu}\,(H\alpha) = 1.097 \times 10^7 \times \left\{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right\} \quad n_1 = 3;\ n_2 = 2;$$

$$= \frac{1.097 \times 10^7 \times 5}{36}$$

$\lambda = \dfrac{1}{\bar{\nu}} = \dfrac{36}{5 \times 1.097 \times 10^7}$ ಮೀಟರ್ $= 6.561 \times 10^{-7}$ ಮೀಟರ್

$= 6561 \times 10^{-10}$ ಮೀಟರ್ $= 6561$ A° (1A° $= 10^{-10}$ ಮೀಟರ್) ... 6.4

n_1, n_2 ಗಳಿಗೆ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿದಂತೆಲ್ಲ ವಿವಿಧ ಶ್ರೇಣಿಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಹಿಂದೆಯೇ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ.

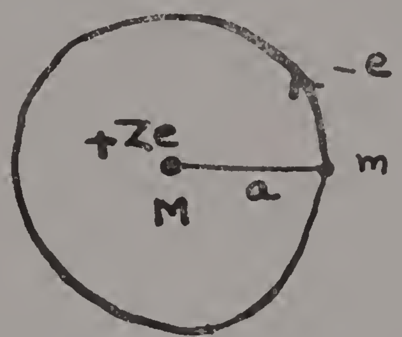
ಮೇಲಿನ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿಯಿದ್ದು ಅದರ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸುತ್ತುವುದೆಂದು ಭಾವಿಸಿದೆ.

ಈಗ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿರುವುದೆಂದೂ, ಅದರ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಪ್ರೋಟಾರ್ನಗಳಿವೆಯೆಂದೂ ತಿಳಿದಿದೆ. ಅಂದರೆ, ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜದ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವು +2e ಆಯಿತು. ಹೀಗೆಯೇ ಲಿಥಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಮೂರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇದ್ದು, ಅದರ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಮೂರು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕೇಂದ್ರವಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ ಆದರ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶ = + 3e.

ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವು + Ze ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, Z = ಪ್ರೋಟಾರ್ನಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ; ಹಾಗೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯೂ ಆಗಿರಬೇಕು.

Z = ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (Atomic number) ಎಂದು ಹೆಸರು.

ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಕೆಲವು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ 2 ರಿಂದ 1 ಕ್ಕೆ ಇಳಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಆಗ ಆ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಅಯನೀಕೃತ ಪರಮಾಣುವೆಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಅದರ ಸಂಕೇತವು He^+. ಇದರ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ + 2e ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ, ಅದರ ಸುತ್ತ ಒಂದೇ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾತ್ರ ಸುತ್ತುತ್ತದೆ. ಈ ರಚನೆಯ ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ಕೂಡ ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಮಾದರಿಯ (Hydrogen–



ಚಿತ್ರ 6-1 ಜಲಜನಕದ ಮಾದರಿಯ ಪರಮಾಣು

like) ಪರಮಾಣುವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಕೇಂದ್ರದ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿದ್ದು, ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಒಂದೇ ಆದರೆ, ಇದನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಮಾದರಿಯ ರಚನೆಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ + Ze ಎಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, Z=2, (ಹೀಲಿಯಂ) He^+ ಪರಮಾಣುವಾಗುತ್ತದೆ. ಲಿಥಿಯಂನ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಮೂರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿ, ಒಂದನ್ನು ಮಾತ್ರ ಉಳಿಸಿದರೆ ಅದು Li^{++} ಅಥವಾ ಅಯನೀಕೃತ (doubly ionised) ಲಿಥಿಯಂ ಆಗಿ, ಆದರ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವು E = 3e (Z=3). ಇದೂ ಒಂದು ಜಲಜನಕದ ಮಾದರಿಯ ಪರಮಾಣುವಾಗುತ್ತದೆ.

ಇಂಥ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಭೋರ್ ಸೂತ್ರವು ಸ್ವಲ್ಪ ಮಾರ್ಪಾಡಾಗುತ್ತದೆ. ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ $E = +Ze$ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿದ್ದರೆ,

$$\frac{k \cdot Ee}{a^2} = \frac{mv^2}{a} = \frac{Ze^2 \cdot k}{a^2}$$

$$mva = \frac{nh}{2\pi} \qquad \ldots \quad 6.5$$

ಈ ಪ್ರಧಾನ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ,

$$E_n = -\frac{2\pi^2 me^2E^2 \cdot k}{n^2h^2} = -\frac{2\pi^2 m \cdot z^2 \cdot e^{4}k}{n^2h^2} \qquad \ldots \quad 6.6$$

ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೆ ಇದನ್ನು ಹೋಲಿಸಿದರೆ, Z^2 ಎಂಬ ಹೊಸ ಪದವು ಇಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ $Z=1$. ಆದ್ದರಿಂದ ಈಗಾಗಲೇ ರೂಪಿಸಿರುವ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಸರಿಹೋಗುತ್ತದೆ.

He^+ಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಾಗ, $Z=2$ ಆಗಿ, $Z^2=4$.

Li^{++}ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ $Z=3$, $Z^2=9$.

ಹೀಗಾಗಿ, He^+, Li^{++}, ಅಥವಾ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರುವ ಇತರ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಅಂತಿಮ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ ಇದೇ ಬದಲಾವಣೆಯು ಬರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ,

$$\bar{\nu} = \frac{2\pi^2 me^4.k}{h^3c} \cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \left(\begin{array}{l} n_1 \text{ ವೃತ್ತದಿಂದ} \\ n_2 \text{ ವೃತ್ತಗೆ ಹಾರುವಾಗ} \end{array} \right) \qquad \ldots \quad 6.7$$

ಸೂತ್ರವು ಆಯಾ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಸರಿಹೋಗುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು

$$\bar{\nu} = R_H \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \qquad \ldots \quad 6.8$$

ಎಂದು ಬರೆಯಬಹುದು.

ಮತ್ತೊಂದು ತಿದ್ದುಪಡಿಯನ್ನೂ R ನಿಯತಾಂಕ (ರಿಡ್‌ಬರ್ಗ್ ನಿಯತಾಂಕ)ಕ್ಕೆ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಕಣದ ತೂಕವನ್ನೂ ಗಮನಕ್ಕೆ ತಂದುಕೊಂಡರೆ, ಅದು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಸ್ಥಿರವಾಗಿರದೆ, ಒಂದು ಸಣ್ಣ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಜಡಾಂಶವನ್ನು M_Z

ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ, ಹೊರಗೆ ಸುತ್ತುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಜಡಾಂಶವು m ಆಗಿದ್ದರೆ, ಇವುಗಳೆರಡೂ ತಮ್ಮ ತಮ್ಮ ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, $R^1{}_H$ ಎಂಬುದು ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ನಿಯತಾಂಕವೂ,

$R^1{}_Z$ ಎಂಬುದು ಯಾವುದೇ ಜಲಜನಕದಂತೆ ವರ್ತಿಸುವ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ (ಅದರ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ = Z)

$$R^1{}_Z = \frac{2\pi^2 me^4 \cdot k}{h^3 c} \frac{M_Z}{(M_Z+m)} \quad \ldots \quad 6.9$$

ಇದು ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಉದಾಹರಣೆಗಾಗಿ, ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ $M_Z = M_H$; $Z=1$

$$R^1{}_H = \left\{\frac{2\pi^2 \, me^4 \cdot k}{h^3 c}\right\} \frac{M_H}{(M_H+m)} = R_H \cdot \frac{M_H}{(M_H+m)} \quad \left\{\frac{M_H}{m} = 1835\right\} \quad \ldots \quad 6.10$$

$$R^1_{He^+} = \frac{2\pi^2 me^4 \cdot k}{h^3 c} \frac{M_{He}}{(M_{He}+m)} \left\{ M_{He} = 4M_H \right\}$$ ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ... 6.11

ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಪೂರ್ಪಾಡಾದ ಸೂತ್ರದ ರೂಪವು

$$\bar{\nu} = \frac{2\pi^2 me^4 K_2}{h^3 c} \frac{M_Z \cdot}{M_z+m} Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right) \quad \ldots \quad 6.12$$

He^+ ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪಿಕರಿಂಗ್ ಮತ್ತು ಫೌಲರ್ ಶ್ರೇಣಿಗಳ ಪಟಲ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ತರಂಗ ಸಂಖ್ಯೆ ($\bar{\nu}$) ಗಳಿಗೂ, ಸೂತ್ರದ ಮೌಲ್ಯಗಳಿಗೂ ಬಹಳಮಟ್ಟಿನ ಸಾಮೀಪ್ಯವು ಇರುತ್ತದೆ.

ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲ ಶ್ರೇಣಿಗೆ ಮಾತ್ರವಲ್ಲದೆ ಆದರಂತೆಯೇ ರಚನೆಯುಳ್ಳ He^+, Li^{++} ಮುಂತಾದ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೂ ಕೂಡ, ಭೋರ್ ಸೂತ್ರದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚಿದಂತಾಗಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಮತ್ತೊಂದು ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟಂತಾಯಿತು.

6.2. ಸಾಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್ ಕಲ್ಪನೆ, ದೀರ್ಘವೃತ್ತಗಳ ಕಕ್ಷಗಳು (Elliptic orbits)

ಇದುವರೆವಿಗೂ, ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಉಂಟಾದ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ತಿಳಿಸಿದ್ದಾಯಿತು. ಈಗ ಅದರಲ್ಲಿಯೂ ಕೆಲವು ನ್ಯೂನತೆಗಳಿದ್ದು ಅವುಗಳನ್ನು ಕ್ರಮ

ಪಡಿಸುವ ಅವಶ್ಯಕತೆಯು ತೋರಿಬಂದಿತು. ಇವುಗಳನ್ನು ಈಗ ಪರಿಶೀಲಿಸ ಬೇಕಾಗಿದೆ.

ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣ ಪಟಲದ ಬಾಮರ್ ಶ್ರೇಣಿಯಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ Hα ರೇಖೆಯೇ ಸರಳವಾಗಿರದೆ ಒಂದು ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಬಂದಿತು. ಅಂದರೆ, ಅದನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೆ, ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಿಯ ಪ್ರಧಾನ ರೇಖೆಯೇ ಅಲ್ಲದೆ ಅದಕ್ಕೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ದುರ್ಬಲ ಕಾಂತಿ (weak intensity) ಯ ಕೆಲವು ರೇಖೆಗಳು ಕಂಡು ಬರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದರೂ, ಗಮನಾರ್ಹವಾದುವು. ಇದಕ್ಕೆ ಸಮಂಜಸವಾದ ಪರಿಹಾರವು ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವದಿಂದ ಸಿಕ್ಕುವಹಾಗಿಲ್ಲ. ಏಕೆಂದರೆ. Hα ರೇಖೆಯು, ಎರಡೇ ಎರಡು ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳ ನಡುವಣ ವ್ಯತ್ಯಾಸದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾದರೆ, ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವೇನು? ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯನ್ನು ಪರಿ ಹರಿಸಲು ಸಾಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್ (Sommerfeld) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1915 ರಲ್ಲಿ ಎರಡು ಹೊಸ ಪ್ರಮೇಯಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸಿದನು.

ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಸುತ್ತುವ ಪಥವು ವೃತ್ತವಲ್ಲ. ಅದು ದೀರ್ಘವೃತ್ತವಾಗಿದ್ದು (ellipse) ಎರಡು ಭಿನ್ನ ಅಕ್ಷರಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರ ಬೇಕು – ಎರಡನೆಯದಾಗಿ, ಈ ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣ ದಿಂದ ಬೀಜ (nucleus)ಕ್ಕೆ ಇರುವ ದೂರವು ಹೆಚ್ಚು ಕಡಿಮೆಯಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅದರ ವೇಗಗಳು ಒಂದೇ ಸಮನಾಗಿರದೆ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ಪ್ರಮಾಣ ಗಳು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಜಡಾಂಶ (m) ದ ಮೌಲ್ಯವೂ ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ (relativistic) ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗಬೇಕು.

ಈ ಎರಡು ದೃಷ್ಟಿಗಳಿಂದಲೂ, ಒಂದೊಂದು ಕ್ವಾಂಟಂ ವೃತ್ತಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯ ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತದ ಆಕೃತಿಯ ಪಥಗಳು ಏರ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಒಂದೊಂದು ಪಥಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಒಂದು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟ (energy lev-l)ವಿರಬೇಕು. ಹೀಗಾಗಿ, ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳ ಭಿನ್ನತೆಯಿಂದ ಹೆಚ್ಚು ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅವ ಕಾಶವಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಪಥಗಳನ್ನು (orbits) ಗುರುತಿಸಲು 2 ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಬೇಕಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸಾಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್ n_r, $n\phi$ ಎಂದು ಕರೆದನು. n_r = ತ್ರಿಜ್ಯದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ $n\phi$ = ದಿಗಂಶ (azimuthal) ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ.

ಭೋರ್ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ n = ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂಸಂಖ್ಯೆ ಆದರೆ, (principal quantum number) $n = n_r + n\phi$. ... 6.13

n, $n\phi$ ಎಂಬ ಎರಡು ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ,

ಸಾಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್ ಪ್ರಕಾರ,

$n=1$; $n\phi=1$

$n=2$; $n\phi=1, 2$. (ಎರಡು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳು)

$n=3$ $n\phi=1, 2, 3$. (ಮೂರು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳು)

ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟದ ಪ್ರಮಾಣಗಳು n, $n\phi$ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತವೆ.

ಆದ್ದರಿಂದ Hα ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, $n=3$ (ಮೂರು ಮಟ್ಟಗಳು) ಇಂದ $n=2$ (ಎರಡು ಮಟ್ಟಗಳು)ಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯು ಹಲವಾರು ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಆಗುವ ಅವಕಾಶವಿದ್ದು, ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ರೇಖೆಗಳು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಸೂಕ್ಷ್ಮ ರಚನೆಯ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತವೆ.

ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಈ ಕಲ್ಪನೆಯು ಹೆಚ್ಚು ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಭೋರ್‌ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಇರಬೇಕಾದ ವೃತ್ತಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ, ದೀರ್ಘವೃತ್ತಗಳ ಆಕೃತಿಯ ಪಥಗಳಿರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸಬಹುದು.

6.3 ಸದಿಶ ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿ (Vector Atom Model).

ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವದಿಂದ ಒಂದು ಹೆಜ್ಜೆ ಮುಂದುವರೆದಿದ್ದರೂ, ಸಾಮರ್‌-ಫೆಲ್ಡ್ ತತ್ತ್ವವೂ ಕೂಡ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ ಕಂಡುಬಂದ ಎಲ್ಲ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೂ ಸಮಂಜಸವಾದ ಉತ್ತರಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಬೇಕಾದರೆ, ನಮ್ಮ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಬೇರೆ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕಾದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಗಳು ಉಂಟಾದುವು. ಇವುಗಳು ಎರಡು ಬಗೆಯಾದುವು.

(a) ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಲ್ಪನೆ (Spinning electron).

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ Hα ರಚನೆಯನ್ನೇ ವೀಕ್ಷಿಸಿದರೂ, ಭೋರ್-ಸಾಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್ ತತ್ತ್ವ ನಿರೂಪಣೆಯು ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮಾಧಾನವು ದೊರಕಲಿಲ್ಲ. ಎಲ್ಲ ರೇಖೆಗಳಿಗೂ, ಅವುಗಳ ಕಾಂತಿಬಲಗಳಿಗೂ (intensities) ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಸೂತ್ರವು ಸಿಕ್ಕಲಿಲ್ಲ. ಹಾಗೆಯೇ, ಸೋಡಿಯಂ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ಎರಡು ಹಳದಿ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ (D_1 ಮತ್ತು D_2) ಕಾರಣವೇನು ? ಮ್ಯಾಗ್ನೀಸಿಯಂ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಸಮೀಪವರ್ತಿಯಾಗಿರುವ ತ್ರಿವಳಿ ರೇಖೆ (triplets) ಗಳು ಹೇಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ ? ಇಂಥ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಪರಿಹಾರ ಕಾಣಲು ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಗಳು ಅವಶ್ಯಕ. ಈ ಕ್ಲಿಷ್ಟ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಪರಿಹಾರವನ್ನು ಊಲೆನ್‌ಬೆಕ್ ಮತ್ತು ಗೌಡ್-

ಸ್ಮಿಟ್ (Uhlenbeck and Gondsmit) ಎಂಬ ಡಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1925 ರಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿದರು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ತನ್ನ ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತದ ಪಥದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವುದರ ಜೊತೆಗೆ, ತನ್ನ ಸ್ವಂತ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತ ಭ್ರಮಣ ಚಲನೆಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿರಬೇಕು (spin about its axis). ಸೂರ್ಯನ ಸುತ್ತಲೂ ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಭೂಮಿ ಗ್ರಹವು ತನ್ನ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತಲೂ ಒಂದು ದಿವಸಕ್ಕೆ (24 ಘಂಟೆಗಳು) ಒಂದಾವೃತ್ತಿ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುತ್ತಿರುವುದು ಗೊತ್ತೇ ಇದೆ. ಇದೇ ಹೋಲಿಕೆಯನ್ನು ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿಕೊಂಡರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ತನ್ನ ಪಥ ಚಲನದ ಜೊತೆಗೆ ಭ್ರಮಣ ಚಲನೆಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವುದು ಅರ್ಥವಾಗುವುದು. ಇದೊಂದು ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದಲೇ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಹಲವು ರೀತಿಯಲ್ಲಿರುವುವು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು m ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಒಂದು ಕಣವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಕೋನೀಯ ಆವೇಗದ ಜೊತೆಗೆ (angular momentum) ಭ್ರಮಣದಿಂದುಂಟಾಗುವ ಮತ್ತೊಂದು ಆವೇಗ (spin momentum) ವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶವಿದ್ದು ಅದು ಚಲಿಸುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವವು (magnetic moment) ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನೂ ಭ್ರಮಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೆ ಬಹುಮಟ್ಟಿನ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬಹುದು.

(b) ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಕ್ವಾಂಟೀಕರಣ (Spatial quantisation)

ಭೋರ್-ಸಾಮರ್‌ಫೆಲ್ಡ್ ಸೂತ್ರಗಳಿಂದ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಚಲಿಸುವ ಪಥಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಗಾತ್ರ ಮತ್ತು ಆಕೃತಿ ಮಾತ್ರ ಗೊತ್ತಾದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಮೂರು ಪರಿಮಾಣಗಳುಳ್ಳ ಹರವು ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ (space) ಈ ಆಕೃತಿಯ ಪಥಗಳು ಯಾವ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಅಭಿಮುಖವಾಗಿ ಓರಣವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆಯೆಂಬುದು ಗೊತ್ತಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ, ಈ ಪಥಗಳನ್ನು ಸದಿಶಗಳಂತೆ ಗಣನೆಮಾಡಬೇಕಾದ ಅವಶ್ಯಕತೆ ಇದೆ (vectors). ಪಥಗಳಿಗೆ ಸದಿಶಗಣನೆಯನ್ನು ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ಮತ್ತೆ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಆಶ್ರಯಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಆಕೃತಿಯ ಪಥಕ್ಕೆ ಕೆಲವೇ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ದಿಕ್ಕುಗಳ ಓರಣ ಮಾತ್ರ ಸಾಧ್ಯ.

ಈ ರೀತಿಯ ಕಲ್ಪನೆಯ ಅವಶ್ಯಕತೆಯೂ ಕೂಡ ಕೆಲವು ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆಯೇ ಉಂಟಾಯಿತು. ಈಗ, ಸೋಡಿಯಂ ದೀಪದಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಹಳದಿ ರೇಖೆಗಳು ಇರುವುದು ತಿಳಿದ ವಿಷಯ. ಇವೇ ದೀಪವನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ (powerful

magnetic field) ಇಟ್ಟರೆ, ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವೇ ಬದಲಾವಣೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಅಡ್ಡ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ (transverse view) ಪ್ರಧಾನರೇಖೆಯ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದೇ ಅಂತರದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಹೊಸ ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ, ಮತ್ತೊಂದು ಲಂಬನೇರದ ದೃಷ್ಟಿ (longitudinal view) ಯಲ್ಲಿ ಮೂಲರೇಖೆಗೆ ಬದಲು ಅದರ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ರೇಖೆಗಳು ಮಾತ್ರ ಕಾಣ ಬರುತ್ತವೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗವು ಜೀಮಾನ್ (Zeeman) ವಿಜ್ಞಾನಿಯಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟು ಆ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಜೀಮನ್ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ (Zeeman effect) ಎಂದೇ ಹೆಸರಾಗಿದೆ. ಇದು ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ಪ್ರಯೋಗ.

ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಬದಲಾವಣೆಯಾಗುವಂತೆಯೇ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದಲೂ, ವರ್ಣಪಟಲರೇಖೆಗಳ ಪಲ್ಲಟಗಳು ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಸ್ಟಾರ್ಕ್ (Stark effect) ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಸಾಮರಸ್ಯವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲು, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಪಥಗಳು ಗಾತ್ರ, ಆಕೃತಿ ಮತ್ತು ಸದಿಶ ಓರಣ–ಎಂಬ ಮೂರು ಅಂಶಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಮಾರ್ಪಾಡಾದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಸದಿಶ ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿಯೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಯನ್ನು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿಯೇ ಹಲವಾರು ಕ್ವಾಂಟಂಸಂಖ್ಯೆಗಳ ಕಲ್ಪನೆಯ ಮೂಲಕ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

6.4. ಸದಿಶ ಆಕೃತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು

ಇದುವರೆವಿಗೂ ನಿರೂಪಿಸುವ ವಿವರಣೆಯಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಬೀಜದ ಸುತ್ತಲೂ ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ದೀರ್ಘವೃತ್ತದ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವುದು ಎಂದು ಖಚಿತವಾಗಿದೆ. ಈ ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತದ ರಚನೆಯನ್ನು ತಿಳಿಯಲು ನಮಗೆ ಅದರ ಪ್ರಧಾನ ಅಕ್ಷಗಳ ಗಾತ್ರ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಇದರೊಂದಿಗೆ ಆ ದೀರ್ಘವೃತ್ತವು ಮೂರು ಪರಿಮಾಣಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಆವರಣದಲ್ಲಿ (space) ಯಾವ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಓರಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆಂದು ಕೂಡ ನಿರ್ಧಾರವಾಗಬೇಕು.

ಹೀಗೆ ಗೊತ್ತಾದ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದರ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ ನಾವು ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕಾದ ಅಂಶಗಳು ಎರಡು : (i) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಜಡಾಂಶವನ್ನು (m) ಹೊಂದಿ ದೀರ್ಘವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವಾಗ ಅದಕ್ಕೆ

ಕೋನೀಯ ಆವೇಗವು ಇರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಪಥೀಯ ತಾಂತ್ರಿಕ ಆವೇಗ (orbital mechanical momentum) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದನ್ನು p_l ಎಂದು ಗುರ್ತಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ,

$$p_l = \frac{lh}{2\pi} \qquad \ldots \quad 6.14$$

ಇಲ್ಲಿ l= ಪಥೀಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (orbital quantum number)

h= ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕ

(ii) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶ (– e) ವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಸುತ್ತಲೂ ತನ್ನ ಪಥದಲ್ಲಿ ತಿರುಗುವಾಗ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ಕೂ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುವುದರಿಂದ, ಒಂದು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಏರ್ಪಡಬೇಕು. ಈ ಕಾರಣ ದಿಂದ, ಒಂದು ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವವು (magnetic moment) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗ ಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಪಥೀಯ ಕಾಂತ ಮಹತ್ವ (orbital magnetic moment) ಎಂದು ಕರೆದು ಅದರ ಸಂಕೇತವನ್ನು μ_l ಎಂದು ಇಟ್ಟರೆ,

$$\mu_l = \frac{eh}{4\pi mc} \cdot l \qquad \ldots \quad 6.15$$

l ಎಂಬುದು ಯಾವಾಗಲೂ ಪೂರ್ಣಾಂಕವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, $l = 1$ ಆದರೆ, μ_l ಗೆ ಕನಿಷ್ಠ ಮೌಲ್ಯವು ಬರುತ್ತದೆ.

ಇದನ್ನು $M_l = \frac{eh}{4\pi mc} = 9.21 \times 10^{-21}$ ಎರ್ಗ್ – ಆಯಿರ್‌ಸ್ಟೆಡ್$^{-1}$

(c.g.s.ಮಾನ) ... 6.16

= 1 ಭೋರ್ ಮ್ಯಾಗ್ನೆಟಾನ್ (Bohr magneton)

ಎಂದು ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಕಾಂತ ಮಹತ್ವದ ಕನಿಷ್ಠಮಾನ ಎಂದು ತಿಳಿಯ ಬಹುದು.

$$\frac{\mu_l}{p_l} = \frac{e}{2mc} \text{ ಆಗುತ್ತದೆ.} \qquad \ldots \quad 6.17$$

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ತನ್ನ ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದರ ಜೊತೆಗೆ ತನ್ನ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತಲೂ ಭ್ರಮಣ ಚಲನೆಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿರಬೇಕೆಂದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿದೆ. ಈ ಅಕ್ಷಭ್ರಮಣ (spin) ವನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತಂದುಕೊಂಡರೆ, ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಮತ್ತೆ ಎರಡು ಆವೇಗಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡ

ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಕೇವಲ ಜಡಾಂಶವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿದೆಯೆಂದರೂ ಗಣಿಸಿದರೆ, ಅದರ ಆವೇಗವು p_s ಆಗುತ್ತದೆ

$$p_s = \frac{sh}{2\pi} \qquad \ldots \quad 6.18$$

ಎಂದು ಕ್ವಾಂಟಂ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, s = ಭ್ರಮಣ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ. ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ $s = +\frac{1}{2}$ ಅಥವಾ $s = -\frac{1}{2}$ ಎಂಬ ಎರಡೇ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳಿವೆ. ಇಲ್ಲಿ ಭಿನ್ನಾಂಶ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಹೇಗೆ ಇರಬಹುದು ಎಂಬ ವಿಚಾರವನ್ನು ಮುಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಲಾಗುವುದು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿದ್ದು, ತನ್ನ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತಲೂ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುವಾಗ, ಮತ್ತೊಂದು ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕು. ಇದರ ಮೌಲ್ಯವು μ_s ಆದರೆ, ಇದಕ್ಕೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿ,

$$\mu_s = \frac{m_s \cdot h}{2\pi} \qquad \ldots \quad \mathbf{6.19}$$

ಇಲ್ಲಿ m_s = ಕಾಂತೀಯ ಭ್ರಮಣ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ.

ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತನ್ನ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಪಥೀಯ ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವ (orbital magnetic moment)ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದೆಂದು ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿದ್ದೇವೆ. ಇದನ್ನು μ_l ಎಂದು ತಿಳಿದರೆ, ಅದಕ್ಕೂ ಕೂಡ ಕ್ವಾಂಟಂ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ, m_l ಎಂಬ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಗುರುತಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ m_l ಸಂಖ್ಯೆಗೂ l ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಒಂದು ಸಂಬಂಧವಿದೆ. ಸದಿಶ ಪ್ರಮಾಣವಾದ l ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರಕ್ಷೇಪ (projection) ಮಾಡಿದರೆ, ಬರುವ ಸಂಖ್ಯೆಯೇ m_l ಆಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಅವುಗಳ ಕೋನೀಯ ಪ್ರಮಾಣವು θ ಆದರೆ

$$m_l = l \cos\theta \qquad \ldots \quad 6.20$$

ಇಲ್ಲಿ m_l, l ಎರಡು ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರಬೇಕಾದುದರಿಂದ, ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಮೌಲ್ಯದ l ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ, m_l ಹೊಂದಿರಬಹುದಾದ ವಿವಿಧ ಮೌಲ್ಯಗಳು $-l$ ನಿಂದ $+l$ ವರೆಗೆ ಇದ್ದು O ಕೂಡ ಇರಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ml ಹೊಂದಿರಬಹುದಾದ ಮೌಲ್ಯಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು $(2l+1)$

ಅಂದರೆ, $-l, -(l-1), -(l-2), \ldots\, O, 1, 2, .\; +(l-1)+l$

ಒಟ್ಟು $(2l+1)$ (ಮೌಲ್ಯಗಳು)

$l=2$ ಆದರೆ, ಇದು 5 ಆಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, $-2, -1, 0, +1, +2$ ... 6.21

ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ m_s ಗೂ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಎರಡೇ ಎರಡು ಮೌಲ್ಯಗಳ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇದೆಯೆಂದು ತೋರಿಸಬಹುದು. ಅವುಗಳ

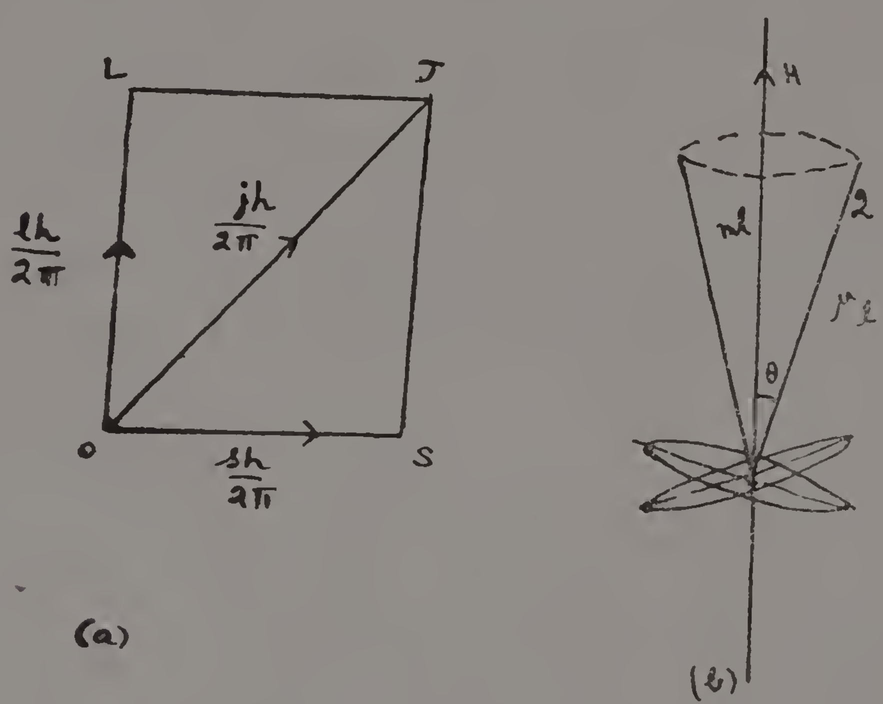
$$m_s = +\tfrac{1}{2}\ ; \quad m_s = -\tfrac{1}{2} \qquad \dots\ 6.22$$

ಬಹಳ ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ, m_l ಮತ್ತು m_s ಗಳ ಪಾತ್ರವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕ್ರೋಡೀಕರಿಸಿದರೆ, l, s ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ, j ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಒಟ್ಟು ಕೋನೀಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಬರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, $j=l+s$ ಆಗಿ, ಇಲ್ಲಿ $s=\pm\frac{1}{2}$ ಇರುವುದರಿಂದ

$$j = l \pm \tfrac{1}{2} \qquad \dots\ 6.23$$

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ, ಸದಿಶ ಪ್ರಮಾಣಗಳಾದ μ_s, μ_l ಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು m_j ಎಂಬ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು j ಸದಿಶ ಪ್ರಮಾಣದ ಪ್ರಕ್ಷೇಪವನ್ನು ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಪರಿಣಾಮ m_j ಕೂಡ ಭಿನ್ನಾಂಶವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದರ ಮೌಲ್ಯಗಳ ಒಟ್ಟು ಸಂಖ್ಯೆಯು $(2j+1)$ ಆಗುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 6.2 ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಕ್ವಾಂಟೀಕರಣ

ಮೇಲಿನ ಚಿತ್ರ [6.2 (a)] ದಲ್ಲಿ l, s, j ಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಸದಿಶ ನಕ್ಷೆಯಲ್ಲಿತೋರಿಸಿದೆ. ಹಾಗೆಯೇ ಚಿತ್ರ [6.2 (b)] ದಲ್ಲಿ m_l ಮತ್ತು l ಗಳ ಪರಿಸಂಬಂಧವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿತಕ್ಕ ವಿಧಾನವನ್ನು ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ತನ್ನ ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವಾಗ, ತನ್ನ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತಲೂ ಭ್ರಮಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ವಿವಿಧ ಆವೇಗಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ, ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಸುತ್ತುವುದರಿಂದ, ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವದ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡ ಬೇಕು. ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತಗಳ ಓರಣಗಳು ಕೂಡ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ನಿಯಮ ಗಳಿಂದಲೇ ನಿರ್ಧಾರ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಲು ಏಳು ಮುಖ್ಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಬೇಕಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಏಳು ಸಂಕೇತಗಳಿಂದ ಸೂಚಿಸಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು

$$m, \; l, \; s, \; j, \; m_l, \; m_s \text{ ಮತ್ತು } m_j$$

n ಎಂಬುದು ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ. ಇದರ ಮೌಲ್ಯಗಳು 0, 1, 2...ಆಗಿರ ಬಹುದು.

l ಎಂಬುದು ಪಥೀಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ. ಇದರ ಮೌಲ್ಯಗಳು 0, 1, 2,... (n–1) ಆಗಿರಬಹುದು.

$n=1$ ಆದರೆ $l=0$

$n=2$ ಆದರೆ $l=0, 1$

$n=3$ ಆದರೆ $l=0, 1, 2$

s– ಭ್ರಮಣ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ . $s=+\frac{1}{2}$ ಇತ್ಯಾದಿ

ಒಂದೊಂದು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಆವೇಗವಿರುತ್ತದೆ.

ಉದಾಹರಣೆ :— *l* ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ $p_l = \frac{l\,h}{2\pi}$

s ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ $p_s = \frac{s.h.}{2\pi}$

ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು $\frac{h}{2\pi}$ ಇಂದ ಗುಣಿಸಿದರೆ ಬರುವುದೇ ಆವೇಗದ ಮೌಲ್ಯ.

$\frac{h}{2\pi} = \bar{h}$ ಎಂದು ಸೂಚಿಸುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಲ್ಲಿದೆ. ... 6.24

ಇದರಿಂದ $p_l = l\bar{h}$; $p_s = s\bar{h}$

$\bar{h} = \frac{h}{2\pi} = 1.054 \times 10^{-34}$ ಜೂಲ್‌ಸೆಕೆಂಡ್ ... 6.25

ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಎಲ್ಲ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳನ್ನೂ ಕ್ರೋಡೀಕರಿಸಿದೆ.

ಸಂಕೇತ	ವಿವರಣೆ	ಆವೇಗ(ಚಲನ ಪ್ರಮಾಣ)	ಸಾಧ್ಯವಿರಬಹುದಾದ ಮೌಲ್ಯಗಳು
n	ಕ್ವಾಂಟಂ ಪ್ರಧಾನ ಸಂಖ್ಯೆ	$\frac{nh}{2\pi} = n\bar{h}$	0, 1, 2……n
l	ಪಥೀಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ	$l\bar{h} = p_l$	0, 1, 2,…(n–1)
s	(ಅಕ್ಷ) ಭ್ರಮಣ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ	$s\bar{h} = p_s$	$\frac{1}{2}$
j	ಒಟ್ಟು ಕೋನೀಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖೆ	$\bar{jh}$	$l+\frac{1}{2}$; $(l-\frac{1}{2})$
m_l	ಕಾಂತೀಯ ಪಥೀಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ	$m_l . \bar{h} = \mu_l$	l, $(l-1)$,……1, 0, –1, –2,…$(-l-1, -l)$ (ಒಟ್ಟು $2l+1$)
m_s	ಕಾಂತೀಯ ಭ್ರಮಣ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ	$m_s . \bar{h} + \mu_s$	$+\frac{1}{2}$; $-\frac{1}{2}$
m_j	ಕಾಂತೀಯ ಒಟ್ಟು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ	$m_j \bar{h}$	+ j ಇಂದ —j ವರೆವಿಗೆ (o ಇರುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ)

6.5 ಪೌಲಿ ಬಹಿಷ್ಕರಣ ಸೂತ್ರ (Pauli's exclusion principle)

ಇದುವರೆವಿಗೂ ಸದಿಶ ಆಕೃತಿಯ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯ ಮುಖ್ಯ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ತಿಳಿಸಿದ್ದಾಯಿತು. ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿನ ಸ್ಥಾನ ಮತ್ತು ಚಲನೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಿ ಅದರ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಕೊಡಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳನ್ನು l, s, j…ಮುಂತಾದ ಸಂಕೇತಗಳ ಮೂಲಕ ಗುರುತಿಸಬೇಕು. $l=0, 1, 2, 3$…ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಇರಬಹುದಾದುದರಿಂದ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ಒಂದು ಸಂಪ್ರದಾಯವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ,

$l=0$ s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್

$l=1$ p ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್

$l=2$ d ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್

$l=3$ f ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್......ಇತ್ಯಾದಿ

ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಅಲ್ಲದೆ ಹಲವಾರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರಬಹುದಾದ್ದರಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಒಟ್ಟು ಕ್ವಾಂಟೀಕೃತ ಸದಿಶ ಪ್ರಮಾಣ (Resultant quantised vectors) ಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾದರೆ ಸೂಕ್ತವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಎಲ್ಲ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ವೈಯಕ್ತಿಕ ಸದಿಶ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಕೂಡಿಸಬೇಕು. ಇದರೊಂದಿಗೆ ಪ್ರಾದೇಶಿಕ ಕ್ವಾಂಟೀಕರಣ (Spatial quantization) ದ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕು.

l, s, j ಮತ್ತು s, p, d, f ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ವೈಯಕ್ತಿಕವಾಗಿ ಅನ್ವಯವಾದರೆ, ಇವುಗಳನ್ನು ಎಲ್ಲ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತೆ ಅದೇ ಸಂಕೇತಗಳನ್ನು ದೊಡ್ಡ ಅಕ್ಷರಗಳಿಂದ ಗುರುತಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ, ಅಂದರೆ ಅವುಗಳು, L, S, J ಮತ್ತು S, P, D, F ಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ಸದಿಶ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಸಂಕಲನ ಮಾಡುವ ಸೂತ್ರಗಳಿಂದ ಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಮುಖ್ಯವಾಗಿರುವ ಮಾರ್ಗಗಳು ಎರಡು.

(i) L—S ಸಂಕಲನ–(L—S Coupling)—ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ L ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಬರುವ ಫಲಿತವನ್ನು (Resultant) L ಎಂದೂ, s ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಒಟ್ಟು ಫಲಿತವನ್ನು S ಎಂದೂ ಕರೆದರೆ,

$$L+S=J=(l_1+l_2+\ldots)+(s_1+s_2+\cdots) \qquad \ldots \quad 6.26$$

ಇಲ್ಲಿ J ಸದಿಶವು, L, S ಗಳ ಸದಿಶ ಫಲಿತವೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಯಾವಾಗಲೂ $s=\frac{1}{2}$ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, ಒಟ್ಟು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಸಮವಾದರೆ (even) S= ಪೂರ್ಣಾಂಕ, ಮತ್ತು ಅದು ವಿಷಮ (odd) ಆದರೆ S ಭಿನ್ನಾಂಶದ ಅಂಕವಾಗಿರಬೇಕು.

J ಯಾವಾಗಲೂ ಧನ ಅಂಶವಾಗಿರಬೇಕು. ಅದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಒಟ್ಟು ಕೋನೀಯ ಆವೇಗದ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶನಮಾಡುತ್ತದೆ.

(ii) ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಕಲನ ಸೂತ್ರವು j-j ನಿಯಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಬೇಕಾಗಬಹುದು. ಅಂದರೆ,

$$J=j_1+j_2+\cdots\cdots$$
$$=(s_1+l_1)+(s_2+l_2)+\cdots\cdots \qquad \ldots \quad 6.27$$

ಹಾಗೆಯೇ $m_L = \Sigma m_l$; $m_J = \Sigma m_j$; $m_S = \Sigma m_s$ ಆಗುತ್ತವೆ. ... 6.28

ಈ ಸದಿಶ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಅನುಸರಿಸುವುದರಿಂದ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿಗೂ, ವರ್ಣಪಟಲ ರಚನೆಗೂ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಗುಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪೌಲಿ (1900–1958) ಎಂಬ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1925ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಇದನ್ನು ಪೌಲಿ-ಬಹಿಷ್ಕರಣ ತತ್ತ್ವ ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ "ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಯಾವುದೇ ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ತಮ್ಮ ಎಲ್ಲ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನೂ ಸಮಾನವಾಗಿರುವಂತೆ ಹೊಂದಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ". ಇದರಿಂದ ಒಂದೊಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಗೂ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವನ್ನು ಕೊಟ್ಟಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ n, l, m_l, m_s ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶನ ಮಾಡಬಹುದು. ಅಥವಾ ಇವುಗಳು n, l, j, m_j ಎಂದೂ ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಉಳಿದ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಇವುಗಳಿಂದ ವ್ಯುತ್ಪನ್ನ (derive) ಮಾಡಬಹುದು. ಈ ನಾಲ್ಕು ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದಾದರೂ ಎರಡು ಬೇರೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಾಗಿರಬೇಕು. ಈ ನಾಲ್ಕು ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ ಒಂದೇ ಆಗಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳನ್ನು ಸಮಾನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೆಂದು (equivalent) ಕರೆಯಬಹುದು. ಅಂದರೆ ಅವುಗಳನ್ನು ಬೇರೆ ಎಂದು ಗಣಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿಲ್ಲ. ಈ ನಿರೂಪಣೆಯನ್ನು ಪೌಲಿಯ ಸಮಾನತ್ವ ತತ್ತ್ವ (Equivalence Principle) ಎಂದೂ ಕರೆಯಬಹುದು.

ಈಗ ಈ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿ ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ನಮಗೆ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಅರಿತಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗೂ, ಪರಮಾಣುಗಳ 'ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕ' (periodic table)ಕ್ಕೆ ಒಂದು ನವೀನ ಅರ್ಥವನ್ನೇ ಕಲ್ಪಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಅದರ ಮೂಲಕ ವಸ್ತುವಿನ ರಾಸಾಯನಿಕ ಮತ್ತು ಇತರ ಭೌತಿಕ ಗುಣಗಳಿಗೂ ಪರಮಾಣು ರಚನೆಗೂ ಇರುವ ಮುಖ್ಯ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತಿಳಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

6.6 ಪರಮಾಣುರಚನೆ–ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕ

ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಒಂದು ನಿಯಮ ಮತ್ತು ಕ್ರಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿಯೇ ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ಮೂಲವಸ್ತು (elements) ಗಳ ಜೋಡಣೆಯನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಈ ಕೋಷ್ಟಕವನ್ನು 1871ರಲ್ಲಿ ಮೆಂಡಲೀಫ್, ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ರಚಿಸಿದನು. ವಸ್ತುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪುನರಾವರ್ತಕ ನಿಯಮವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು.

ಈ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಅಡ್ಡಲಾದ ಏಳು ಸಾಲುಗಳೂ (ಅಥವಾ ಆವರ್ತಗಳು), ಎಂಟು ಲಂಬಸ್ಥಂಭಗಳೂ (vertical columns) ಅಥವಾ ಗುಂಪುಗಳೂ (groups) ಕಾಣುತ್ತವೆ. ಪರಮಾಣು ತೂಕಗಳನ್ನೂ ಕ್ರಮವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಿಸುತ್ತ ಹೋಗುವಾಗ, ಅವುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನವನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ ಏರುವ ಸಂಖ್ಯೆ (atomic number) ಅಥವಾ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯಿಂದ ಮಾಡಬಹುದು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, H ಗೆ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 1, He ಗೆ –2, Li ಗೆ 3, – – – V ಗೆ 92 ವರೆವಿಗೆ ಇರುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯೂ ಕ್ರಮವಾಗಿ, 1, 2, 3... ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ವಸ್ತುಗಳ X- ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಅಧ್ಯಯನ ಗಳಿಂದ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯವು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಪರ ಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ವಿವಿಧ ಗುಂಪುಗಳು ಅಥವಾ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ (shells) ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುವುದೆಂದು ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಬಹುದು.

ಈ ಕವಚಗಳನ್ನು K, L, M, N, O, P, Q ಎಂಬ ಸಂಕೇತಗಳಿಂದ ಸೂಚಿಸ ಲಾಗಿದೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಕ್ಕೆ ಅತಿ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ ಕವಚವು K, ಅದರ ಹೊರಗಡೆ ಕ್ರಮವಾಗಿ, L, M, N, - - - ಕವಚಗಳು ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಒಂದೊಂದು ಕವಚದಲ್ಲಿ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪರಮಾವಧಿ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಕವಚಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಹೀಗೆ ಇರುತ್ತವೆ.

ಕವಚ → K L M N O P Q

ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (n) → 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಮೊದಲ ಆವರ್ತದಲ್ಲಿ H ಇಂದ ಹಿಡಿದು, ಕ್ರಮವಾಗಿ ಅಡ್ಡಸಾಲಿನಲ್ಲಿರುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (atomic number)ಯು 1, 2, - - ಆಗಿ ಏರುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಅನು ಗುಣವಾಗಿ, ಆಯಾ ಪರಮಾಣುಗಳ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯೂ 1, 2,... ಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಏರುತ್ತ ಹೋಗುವುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ

ಅಂದರೆ H ನಲ್ಲಿ ಒಂದು, He ನಲ್ಲಿ ಎರಡು, Li ನಲ್ಲಿ ಮೂರು---ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗಳು ಇರಬೇಕಾಗುವುದು.

ಹೀಗೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಏರುತ್ತ ಹೋಗುವಾಗ, ಅವುಗಳು ಹಂಚಿಕೆ ಯಾಗುವ ವಿವಿಧ ಕವಚಗಳಿಗೂ, ಆವರ್ತಕೋಷ್ಟಕದ ಆವರ್ತಗಳಿಗೂ ಒಂದು ನಿಕಟ

ಸಂಬಂಧವಿರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸುವುದು ಸಹಜವಾಗುತ್ತದೆ. ರಾಸಾಯನಿಕ ಮತ್ತು ಇತರ ಗುಣಗಳಿಗೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುವ ಕವಚಗಳ ರಚನೆಗೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದರೆ, ಈ ರೀತಿ ಇರುತ್ತದೆ.

He, Ne, A . . . . ಮುಂತಾದ ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುಗಳು ಜಡ ಅನಿಲ (inert gases) ಗಳಾಗಿ, ರಾಸಾಯನಿಕವಾಗಿ ನಿಷ್ಕ್ರಿಯಗಳಂತೆ (chemically inactive) ವರ್ತಿಸುವುದು ಗೊತ್ತೇ ಇದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವನ್ನು ರಿಡ್‌ಬರ್ಗ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಸೂಚಿಸಿದ ಪ್ರಕಾರ ಆ ಅನಿಲಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನು ಗಳು ಪೂರ್ಣವಾಗಿ ತುಂಬಿದ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿವೆ. ಉದಾಹರಣೆ :– He ನಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು K ಕವಚದಲ್ಲಿ ತುಂಬಿವೆ. Ne ಪರಮಾಣುವಿ ನಲ್ಲಿರುವ 10 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು K, L ಕವಚಗಳನ್ನು ತುಂಬಿರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ K ನಲ್ಲಿ ಎರಡು, L ನಲ್ಲಿ 8 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ತುಂಬಿರುತ್ತವೆ. A ನಲ್ಲಿ, K, L, M ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮವಾಗಿ 2, 8, 8 ಒಟ್ಟು 18 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರುತ್ತವೆ. ಈ ಜೋಡಣೆಯು ಒಂದು ಸುಭದ್ರವಾದ ರಚನೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸಿ, ಒಂದೊಂದು ಕವಚ ದಲ್ಲಿಯೂ, ಸಂಪೂರ್ಣ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಏರ್ಪಟ್ಟಿದೆ. ಇದೇ ಆ ಅನಿಲಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಜಡತ್ವಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೆಂದು ಊಹಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಈಗ Li ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ K ಕವಚದಲ್ಲಿ 2, L ಕವಚದಲ್ಲಿ 1 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗಳು ಇದ್ದು ಒಟ್ಟು ಮೂರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇವೆ. ಹಾಗೆಯೇ, Na (ಸೋಡಿಯಂ) ನಲ್ಲಿರುವ 11 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯು ಹೀಗಿದೆ : Kನಲ್ಲಿ 2, Lನಲ್ಲಿ 8, Mನಲ್ಲಿ 1. M ಕವಚವು ಅಪೂರ್ಣವಾಗಿದ್ದು ಒಂದು ಬಿಡಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಇದೆ. Li ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿಯೂ ಹೊರಗಿರುವ L ಕವಚದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬಿಡಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಇದ್ದು ಅದು ಅಪೂರ್ಣವಾಗಿದೆ. K ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ 19 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು K, L, M, N ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮವಾಗಿ, 2, 8, 8, 1 ಇರುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ಹೊರಗಡೆ ಇರುವ N ಕವಚದಲ್ಲಿ ಒಂದು–ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಬಿಡಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಷಯಗಳಿಂದ ನಾವು ಊಹಿಸಬಹುದಾದ ಕಲ್ಪನೆ ಯೆಂದರೆ :– Li, Na, K ವಸ್ತುಗಳು ಸಮಾನ ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ :– ಅವುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಹೊರಗಿರುವ (outermost shell) ಕವಚದಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆ 1 ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಸಂಯೋಗಸಾಮರ್ಥ್ಯ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (valence electron) ಎಂದು ಕರೆದರೆ, ಆ ವಸ್ತುಗಳ ಸಂಯೋಜನೆಸಾ ಮರ್ಥ್ಯವೂ (valency) ಒಂದೇ ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ವಿಸ್ತರಿಸಿದರೆ, Mg, Ca, Sr,...ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ

ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ಹೊರಗಿರುವ ಕವಚದಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ = 2 ಹಾಗೂ, ಸಂಯೋಜನೆ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ = 2.

ಈ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿವೆ. K, L, M, ... ಕವಚಗಳ ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (n) ಗಳು ಕ್ರಮವಾಗಿ 1, 2, 3 ... ಆಗಿದ್ದರೆ,

ಅವುಗಳಲ್ಲಿರಬಹುದಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಗರಿಷ್ಠ ಸಂಖ್ಯೆಯು (maximum) $2n^2$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

ಅಂದರೆ, K, L, M, N... ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮವಾಗಿ
2, 8, 18, 32 ... ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರಬೇಕು.

ಈಗ, ಪೌಲಿನಿಯಮವನ್ನು ಅನ್ವಯಮಾಡಿದರೆ, ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳು ಯಾವ ಕ್ರಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಕವಚ ಮತ್ತು ಉಪಕವಚ (shells and sub-shells) ಗಳಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರಬೇಕು ಎಂದು ಗೊತ್ತುಮಾಡಬಹುದು. ಹೀಗೆ ಮಾಡುವಾಗ ಒಂದೊಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ನಿರ್ದೇಶನಕ್ಕೂ ಕವಚಗಳ ಹಂಚಿಕೆಗೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬೇಕು. ಇದನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಕೆಲವು ಉದಾಹರಣೆಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

K· ಕವಚ–ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು. ಇವುಗಳ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಹೀಗಿರಬೇಕು.

	n	l	m_l	m_s
ಒಂದನೇ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್	1	o	o	$+\frac{1}{2}$
ಎರಡನೇ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್	1	o	o	$-\frac{1}{2}$

ಪೌಲಿ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ಮೊದಲಿನ ಮೂರುಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಒಂದೇ ಆದರೂ, m_s ನಲ್ಲಿ ಭೇದವಿದೆ. ಮತ್ತು ಬೇರೆ ಯಾವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇರಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಏಕೆಂದರೆ

$n=1$ ಆದರೆ, $l=o$ ಮಾತ್ರ ಇರಬಹುದು. ಇದು 's' ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್.

(s)

L ಕವಚ– $n=2$, $l=o$ $m_l=o$ $m_s=\pm\frac{1}{2}$ (ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್)

$n=2$, $l=1$ $\left.\begin{matrix} m_l=1, \\ m_l=o \\ m_l=-1 \end{matrix}\right\}$ $\left.\begin{matrix} m_s=\pm\frac{1}{2} \\ m_s=\pm\frac{1}{2} \\ m_s=\pm\frac{1}{2} \end{matrix}\right\}$ ಒಟ್ಟು ಆರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (p^1)

ಒಟ್ಟು ಗರಿಷ್ಠ ಸಂಖ್ಯೆ = 2 's'· ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು 6 'p' ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್.

M ಕವಚ— $n=3$ $l=o$, $m_l=o$ $m_i=\pm\frac{1}{2}$– (2 s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್)
$n=3$ $l=1$ $m_l=1,0,-1$ $m_s=\pm\frac{1}{2}$ (6 p ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್)
$n=3$ $l=2$ $m_l=\left.\begin{matrix}2,1,0\\-1,-2\end{matrix}\right\}$ $m_s=\pm\frac{1}{2}$ (10 d ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್)

ಒಟ್ಟು 18 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇತ್ಯಾದಿ.

ಜಲಜನಕ	ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 1	ಕವಚ	ರಚನೆ ಉಪಕವಚಗಳು			
			s.	p.	d.	f.
		K	1	—	—	—
ಹೀಲಿಯಂ	,, = 2	K	2	—	—	—
ಲಿಥಿಯಂ	,, = 3	K	2	—	—	—
		L	1	—	—	—
ನಿಯಾನ್	,, =10	K	2	—	—	—
		L	2	6	—	—
ಸೋಡಿಯಂ	,, =11	K	2	—	—	—
		L	2	5	—	—
		M	1	—	—	—
ಮ್ಯಾಗ್ನೀಸಿಯಂ	,, =12	K	2	—	—	—
		L	2	6	—	—
		M	2	—	—	—
ಆರ್ಗಾನ್	,, =18	K	2	—	—	—
		L	2	6	—	—
		M	2	6	—	—
ಪೊಟಾಸಿಯಂ	,, =19	K	2	—	—	—
		L	2	6	—	—
		M	2	6	—	—
		N	1	—	—	—

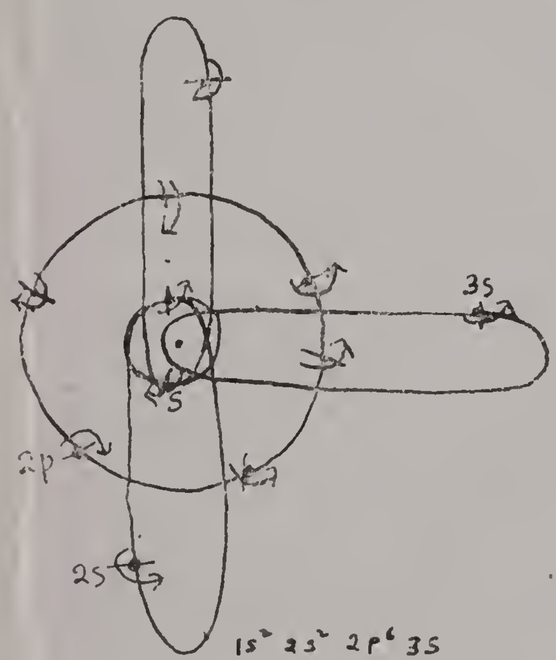
ಇತ್ಯಾದಿ

ಯಾವುದಾದರೂ ಪ್ರಧಾನ ಕವಚವಾಗಲಿ, ಉಪಕವಚವಾಗಲಿ, ಪೂರ್ಣವಾಗಿದ್ದು, ಬೇರೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವಿಲ್ಲದಿದ್ದರೆ, ಆ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟು [ಪಥೀಯ ಮತ್ತು ಭ್ರಮಣ] ಕೋನೀಯ ಆವೇಗವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿರಬೇಕು. ಇದೇ ಕಾರಣದಿಂದಲೇ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಗುಣಗಳು ಜಡವಾಗಿರುವುದು He, Ne, ... ಮುಂತಾದ ಜಡ ಅನಿಲಗಳಲ್ಲಿ. ಹಾಗೂ, Li, Na, K ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಹೊರ ಕವಚಗಳಾದ L, M, N ಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಒಂದು s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಇರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಮ್ಯವಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಹೊರ

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು 2 s, 3 s, 4 s (ಎಂದು ಕರೆಯುಬಹುದು (L, M, N ಕವಚಗಳಿಗೆ n ಸಂಖ್ಯೆಯು 2, 3, 4.)

ಮತ್ತೊಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ವಿಷಯುವೇನೆಂದರೆ, ಒಂದೊಂದು ಕವಚ ದಲ್ಲಿಯೂ, ಎಲ್ಲ ಉಪಕವಚಗಳೂ ಭರ್ತಿಯಾದ ಹೊರತು ಮುಂದಿನ ಕವಚಕ್ಕೆ ಹೋಗಬೇಕು ಎಂಬ ನಿಯಮವಿಲ್ಲ. ಉದಾಹರಣೆ : M ಕವಚದಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟು 18 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರಬಹುದು. ಇವುಗಳ ಹಂಚಿಕೆಯಲ್ಲಿ 2 s, 6 p ಮತ್ತು 10 d ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರಬಹುದು. ಆದರೆ, ಮೇಲಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಕಾಣುವಂತೆ, 'ಆರ್ಗಾನ್' ನಲ್ಲಿರುವ M ಕವಚದಲ್ಲಿ 8 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರ ಇವೆ. ಇನ್ನೂ 10 d ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವಿದ್ದರೂ, 'ಪೊಟಾಸಿಯಂ' ನಲ್ಲಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಹಾಗೆಯೇ ಬಿಟ್ಟು N ಕವಚದಲ್ಲಿ 1 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತುಂಬುತ್ತದೆ. ಇನ್ನೂ ಸ್ವಲ್ಪ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಂತರ, M ಕವಚದಲ್ಲಿ d ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಉಪಕವಚವು ಭರ್ತಿಯಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಪೌಲಿ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುವ ಕವಚ ಮತ್ತು ಉಪಕವಚಗಳಿಗೂ, ಕೋಷ್ಟಕದ ಆವರ್ತ ನೀತಿಗೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 6.3 ಸೋಡಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿ

ಸೋಡಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ 11 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೇಗೆ ಸ್ಥಾನ ವಿನ್ಯಾಸ ಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದೆಂದು ತೋರಿ ಸುವ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಚಿತ್ರ (6.3) ರಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.

K ಕವಚದಲ್ಲಿ 2s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು [$1s^2$]; L ಕವಚದಲ್ಲಿ 2s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು [$2s^2$] L ಕವಚದಲ್ಲಿ 6 p ; ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗಳು [$2p^6$] ಮತ್ತು M ಕವಚದಲ್ಲಿ 1s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (3s); ಒಟ್ಟು 11 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗಳು ತಮ್ಮ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತಲೂ ಭ್ರಮಣ ವನ್ನು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುತ್ತದೆ.

6.7 ಪರಮಾಣುವಿನ ವರ್ಣಪಟಲದ ರಚನೆಯ ಕ್ರಮ

ಜಲಜನಕದ ವರ್ಣಪಟಲದರೇಖೆಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಲು, ಭೋರ್ ಪ್ರತಿ ಪಾದಿಸಿದ ತತ್ತ್ವದ ಸರಳ ನಿರೂಪಣೆಯನ್ನು ಈಗಾಗಲೇತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ

$H\alpha$ ಎಂಬ ಬಾಮರ್ ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು $n=3$ ಪಥದಿಂದ $n=2$ ಪಥಕ್ಕೆ ಧುಮುಕಬೇಕು. ಹಾಗೆಯೇ $n=4$ ಪಥದಿಂದ $n=2$ ಪಥಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿಸರ್ಜಿಸುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ $H\beta$ ರೇಖೆಯು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, $n=4, 3, 2$ ಮುಂತಾದ ಪಥಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದರಿಂದ, ಪಟಲರೇಖೆಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

ಮೊತ್ತಮೊದಲು, ಭೋರ್ ನಿರೂಪಣೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸುತ್ತುವ ಪಥವು ವೃತ್ತವೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದೇ ಕ್ವಾಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (n) ಯು ಸಾಕು. ಆದರ, $H\alpha$ ರೇಖೆಗೆ ಅತಿಸೂಕ್ಷ್ಮ ರಚನೆಯು ಗೊತ್ತಾದ ಮೇಲೆ ಪಥವನ್ನು ದೀರ್ಘ ವೃತ್ತಕ್ಕೆ ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಎರಡು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಬೇಕಾಯಿತು. ನಂತರ ಸದಿಶ ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿಯ ರಚನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಅವಶ್ಯಕವಾಗಿ ಕಂಡು ಬಂದುವು. ಹೀಗಾಗಿ ಒಂದೊಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಪಥನಿರ್ದೇಶಕ್ಕೆ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ನಾಲ್ಕು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಾದರೂ ಬೇಕೇಬೇಕಾಯಿತು. ಇವುಗಳನ್ನು n, l, s, j, m_l, m_s, m_j, ಗಳಿಂದ ಚುನಾಯಿಸಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಅಂತಿಮ ಚಿತ್ರವು ಬಹಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಒಂದೊಂದು ಪ್ರಧಾನ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಕ್ಕೂ ಹಲವು ಉಪಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಬೇಕಾಗಿ ಬಂದಿದೆ. ಹೀಗೆ ಒಂದೊಂದು ಮಟ್ಟವೂ ಬಹು ಗುಣಿಕ (multiplet) ವಾಗಿ, ಇಂಥ ಎರಡು ಮಟ್ಟಗಳ ನಡುವೆ ಪರಿವರ್ತನ ಮಾರ್ಗಗಳು ಹಲವಾರು ಇರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಇವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಸಾಧ್ಯವಾದ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳಾಗುವ ಹಾಗಿಲ್ಲ. ಇದಕ್ಕೂ ಪೌಲಿಯ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ಕೆಲವು ಚುನಾಯಿಕೆ ಸೂತ್ರಗಳು (selection rules) ಕಲ್ಪಿತವಾಗಿವೆ. ಆದರೆ, ಇವುಗಳು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದರೂ, ಅವುಗಳ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪರಿಶೀಲನೆಯಿಂದ ಪಟಲರೇಖೆಗಳ ಅತಿಸೂಕ್ಷ್ಮ ರಚನೆಯ ಕಾರಣಗಳು (fine structure) ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತವೆ. ಪ್ರಯೋಗಗಳೊಂದಿಗೆ ಹೆಚ್ಚು ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯೂ ತಿಳಿದುಬರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳ ಸ್ಥೂಲ ರೂಪರೇಖೆಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಈಗ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ವರ್ಣಪಟಲ ಶಾಸ್ತ್ರವೇ ಬಹಳ ದೊಡ್ಡ ಶಾಖೆಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿ, ಅತಿಗಹನವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಿವೆ.

ದ್ಯುತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲಗಳು (optical spectra) ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಹೊರ ಕವಚದಲ್ಲಿರುವ ಸಂಯೋಜನಾ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (valence electron) ಗಳ ಚಲನ ವಲನಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಅವಲಂಬಿಸಿ ಹೊರ ಕವಚದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವಿದ್ದು, ಅದು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿರದೆ, ಒಂದು , ಎರಡು, ಮೂರು...ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರಬಹುದು. ಒಳಗಿನ ಸಂಪೂರ್ಣ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗಿಲ್ಲ. ಸೋಡಿಯಂ, ಪೊಟಾಸಿಯಂ-ಮುಂತಾದ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರ ಅಪೂರ್ಣ ಕವಚದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾತ್ರ ಇದ್ದು, ಅವುಗಳನ್ನು (ಆಲ್ಕಲಿಗಳು) ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ, ಮ್ಯಾಗ್ನೀಸಿಯಂ, ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ ಮುಂತಾದುವುಗಳು ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗೂ, ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಮುಂತಾದ ಪರಮಾಣುಗಳು ಮೂರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗೂ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತವೆ.

ವರ್ಣಪಟಲ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಅನುಸರಿಸುವ ಸಂಕೇತಗಳ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದೊಂದು ಶಕ್ತಿಪಟ್ಟವನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ಒಂದು ಪಟಲ ಪದ (spectral term) ವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ. L ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಮೌಲ್ಯಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಇವುಗಳನ್ನು S, P, D ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ.

ಪದ	S	P	D	F	G	H
L ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ	0	1	2	3	4	5

ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಒಂದು ಶಕ್ತಿ ಪಟ್ಟದಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಪಟ್ಟಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದನ್ನು ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಪದಗಳ ಅಂತರದಿಂದ ಸೂಚಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಅಂತರವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಲು ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ನಿಯಮವಿದೆ. ಅದು ಏನೆಂದರೆ, ಇದರಲ್ಲಿ L ಸಂಖ್ಯೆಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ± 1 ಮಾತ್ರ ಇರಬೇಕು. ಅಂದರೆ

$$\triangle L = \pm 1 \qquad \ldots \quad 6.29$$

ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಪಟಲ ಶ್ರೇಣಿಗಳನ್ನು (spectral series) ನಾಲ್ಕು ಭಾಗಗಳನ್ನಾಗಿ ಗಣಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ.

ಪ್ರಧಾನ ಶ್ರೇಣಿ	(Principal)	P→S	($\triangle L = +1$)
ಚೂಪು ಶ್ರೇಣಿ	(Sharp)	S→P	($\triangle L = -1$)
ಚೆದರಿದ ಶ್ರೇಣಿ	(Diffuse)	D→P	($\triangle L = +1$)
ಮೂಲ ಶ್ರೇಣಿ	(Fundamental)	F→D	($\triangle L = +1$)

ಮೇಲಿನ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ D→S, F→P ಪರಿವರ್ತನೆಗಳು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಏಕೆಂದರೆ ಅವುಗಳಲ್ಲಿ $\triangle L = +2$ ಆಗುತ್ತದೆ.

ಒಂದೊಂದು ಶಕ್ತಿ ಪಟ್ಟಕ್ಕೂ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಉಪ ಪಟ್ಟಗಳು ಇರಬಹುದು. ಏಕೆಂದರೆ L ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಭ್ರಮಣ ಸಂಖ್ಯೆ S ಮತ್ತು

ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ J (J=L+S) ಗಳೂ ಇರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಿದ ಮೇಲೆ ಆ ಪದದ ಬಹುಗುಣತ್ವವನ್ನು (multiplicity) ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಇದನ್ನು r ಎಂದು ಬರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಅದು (2s+1) ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. $r=(2s+1)$. ಹೀಗಾಗಿ, ಒಂದೊಂದು ಪದ (S, P,..) ದ ಎಡ ಮೇಲ್ಭಾಗದಲ್ಲಿ r ಸಂಖ್ಯೆಯ ಮೌಲ್ಯವನ್ನೂ, ಬಲಗಡೆ ಕೆಳಭಾಗದಲ್ಲಿ J ಸಂಖ್ಯೆಯ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನೂ ಬರೆಯುವುದು ಸಂಪ್ರದಾಯವಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದೆರಡು ಉದಾಹರಣೆಗಳಿಂದ ವಿವರಿಸಬಹುದು.

ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ರಚನೆ. ಇದರಲ್ಲಿ $L=l$, $S=s$, $J=j$ ಆಗುತ್ತದೆ. $S = \pm \frac{1}{2} \therefore \nu = (2s+1) = 2.$

ಇದರ ತಳಪದ (ground term) ದಲ್ಲಿ $L=0$ ಆಗಿ S ಪದವು ಏಕಪದ (singlet) ಮಾತ್ರ ಆಗಿರಬಹುದು. $J=+\frac{1}{2}$ ಮಾತ್ರ ಇರಬಹುದು.

P ಪದಕ್ಕೆ $L=1$ $J=\frac{3}{2}$ ಅಥವಾ $\frac{1}{2}$ ಆಗಿ ದ್ವಿಗುಣಿತವಾಗಿರುವುದು.

D ಪದಕ್ಕೆ $L=2$ $J=\frac{5}{2}$ ಅಥವಾ $\frac{3}{2}$ ಆಗಿ ದ್ವಿಗುಣಿತವಾಗಿರುವುದು.

ಆದ್ದರಿಂದ, S ಪದವನ್ನು ಬಿಟ್ಟು ಉಳಿದವುಗಳು ದ್ವಿಗುಣಿತವಾಗಿರುವುವು. ಇವುಗಳನ್ನು ಹೀಗೆ ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

$S_{\frac{1}{2}}$, $2P_{\frac{1}{2}}$, $2P_{\frac{3}{2}}$, $2D_{\frac{3}{2}}$, $2D_{\frac{5}{2}}$ ....

ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪರಮಾಣು ಗಳಲ್ಲಿ $L=\Sigma l$, $S=\Sigma s$, $J=\Sigma j$ ಎಂದು ಗಣಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. $S=0$, $\frac{1}{2}$,1 ಆಗಿರಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ Jಗೆ ಇರಬಹುದಾದ ಒಟ್ಟು ಮೌಲ್ಯಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು 2, 3,...ಆಗಬಹುದು. ಒಂದೊಂದು ಪದಕ್ಕೂ $r=3$, 4 ...ಆಗಿ ಬಹುಗುಣತ್ವ ಹೆಚ್ಚುವುದು.

ಒಂದೊಂದು ಪದಕ್ಕೂ ಮತ್ತೊಂದು ಪದಕ್ಕೂ ಸಾಧ್ಯವಾಗಬಹುದಾದ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳಲ್ಲಿ, ಪೌಲಿ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಎರಡು ಪ್ರಧಾನ ನಿಯಮಗಳು ಇವೆ.

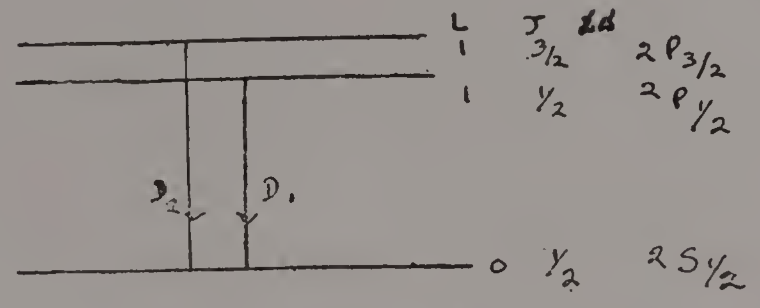
$\triangle L = +1$ ಅಥವಾ -1.

$\triangle J = 0, +1$ ಅಥವಾ -1 $(0 \rightarrow 0$ ನಿಷಿದ್ಧ$)$ ... 6.30

ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ರೇಖೆಗಳ ಪ್ರಭೆಯ ಪ್ರಮಾಣ (intensity) ಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧ ಪಟ್ಟ ಸೂತ್ರಗಳೂ ಇವೆ.

ಈ ವಿಸ್ತರಿತ ನಿಯಮಗಳನ್ನು ಪಾಲಿಸಿದರೆ, ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಪಟಲದ ರೇಖೆಯಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮರಚನೆಗೂ ಕಾರಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು

ಒಂದೊಂದು ಉಪರೇಖೆಗೂ ವೈಯಕ್ತಿಕವಾದ ರಚನಾಕ್ರಮವನ್ನು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಜಲಜನಕದ H*a* ರೇಖೆಯ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಉಪರೇಖೆಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಗುರುತಿಸಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 6.3 ಸೋಡಿಯಂ ರೇಖೆಗಳ ರಚನೆ

ಸೋಡಿಯಂ ಪಟಲದಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ರೇಖೆಗಳಾದ D_1, D_2 ಗಳ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ 6.3ರಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.

D_1 ರೇಖೆ $\lambda = 5896A^\circ \quad 2P_{\frac{1}{2}} \rightarrow 2S_{\frac{1}{2}} \quad (\triangle L = 1, \ \triangle J = 0)$

D_2 ರೇಖೆ $\lambda = 5890A^\circ \quad 2P_{\frac{3}{2}} \rightarrow 2S_{\frac{1}{2}} \quad (\triangle L = 1, \ \triangle J = 1)$

ಹಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ವರ್ಣಪಟಲಗಳ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಯು ಬಹಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದುದು.

6.8 X – ಕಿರಣ ವರ್ಣಪಟಲ

ಇದುವರೆವಿಗೂ ವಿವರಿಸಿರುವ ನಿರೂಪಣೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಜೋಡಣೆಯ ವಿನ್ಯಾಸಕ್ಕೂ, ಆವರ್ತ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಆವರ್ತನಿಯಮಕ್ಕೂ ನಿಕಟವಾದ ಸಂಬಂಧವು ಇರುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು K, L, M... ಎಂಬ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮವಾಗಿ ಸ್ಥಾನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

ಪೌಲಿ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ಒಂದೊಂದು ಕವಚದಲ್ಲಿಯೂ ಇರಬಹುದಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಒಂದು ಉಚ್ಚ ಮಿತಿ ಇದೆ. ವಿವಿಧ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಗರಿಷ್ಠ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಹೀಗೆ ಇರುತ್ತದೆ.

K	...	2	
L	...	8	
M	...	18	
N	...	32	... ಇತ್ಯಾದಿ.

ಒಂದೊಂದು ಕವಚದಲ್ಲಿ ಉಪಕವಚಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳ ಜೋಡಣೆ ಹೀಗಿದೆ.

K	l	ಸಂಖ್ಯೆ—2	s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು
L	S	ಸಂಖ್ಯೆ—2	2 s ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು
	p	ಸಂಖ್ಯೆ—6	6 p ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು
M	2 s, 6 p ಮತ್ತು 10 d ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇತ್ಯಾದಿ.		

ಆವರ್ತ ಕೋಷ್ಟಕದ ಬಲಭಾಗದ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಜಡ ಅನಿಲಗಳಾಗಿದ್ದು, ಅವುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಕವಚ ಅಥವಾ ಉಪಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಉಚ್ಚಮಿತಿ ಇರುತ್ತದೆ.

ಇವುಗಳನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಉಳಿದ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಹೊರ ಕವಚ ಅಥವಾ ಉಪಕವಚದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಉಚ್ಚಮಿತಿಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದು, ಖಾಲಿ ಸ್ಥಾನಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಇಂಥ ಅಪೂರ್ಣ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿರುವ ಮುಕ್ತ (free) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಆ ವಸ್ತುಗಳ ಸಂಯೋಜನಾ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವು 1, 2, 3...ಗಳಾಗಿರಬಹುದು.

ಪರಮಾಣುವಿನ ದೃಶ್ಯ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳೆಲ್ಲವೂ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಅಪೂರ್ಣಕವಚಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನವಲನಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತವೆ.

ಈ ಪ್ರಧಾನ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ನಮಗೆ X – ಕಿರಣಗಳ ವರ್ಣಪಟಲದ ರಚನೆಯು ಸುಲಭವಾಗಿ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

X – ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಸರ್ಜಿತ ವರ್ಣಪಟಲ (emission spectrum)ವು ಎರಡು ವಿಧವಾಗಿರಬಹುದು. (i) ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಪಟಲ ಮತ್ತು (ii) ವೈಯಕ್ತಿಕ X – ಕಿರಣ ಪಟಲರೇಖೆಗಳು (characteristic spectral lines).

ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ X – ಕಿರಣ ಪಟಲವನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ಅದನ್ನೇ X – ಕಿರಣ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಲಕ್ಷ್ಯ (target) ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಕ್ಯಾಥೋಡಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಅತಿವೇಗದಿಂದ ಆಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವುದರ ಫಲವಾಗಿ, ವೈಯಕ್ತಿಕ X – ಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ–ಮತ್ತೊಂದು ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಶಕ್ತಿಯ (hard) X – ಕಿರಣ ನಾಳಿಕೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಮೂಲ (primary) ಕಿರಣಗಳನ್ನು ನಮಗೆ ಬೇಕಾದ ವಸ್ತುವಿನಮೇಲೆ ಆಪಾತ ಮಾಡಿಸಿದರೆ, ಈ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಕಿರಣಗಳೇ ವೈಯಕ್ತಿಕ X – ಕಿರಣಗಳಾಗುತ್ತವೆ.

ಇಂಥ ವರ್ಣಪಟಲಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆಯನ್ನು ಬಾರ್ಕ್‌ಲಾ, ಸಾಡ್ಲರ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1908 ರಲ್ಲೇ ಪ್ರಾರಂಭಿಸಿದರು. ಇದರಿಂದ, K, L ಎಂಬ ಎರಡು ಪಟಲಶ್ರೇಣಿಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಿದರು.

ಬ್ರ್ಯಾಗ್ ವರ್ಣಪಟಲಮಾಪಕದ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಮುಂದುವರೆದಮೇಲೆ ಒಂದೊಂದು ಶ್ರೇಣಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಹಲವಾರು ರೇಖೆಗಳ ಗುಂಪುಗಳು ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಇದಾದನಂತರ 1913-14 ರಲ್ಲಿ ಮೋಸ್ಲಿ (Moseley) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಕೂಲಂಕಷವಾದ ಸಮೀಕ್ಷೆಯನ್ನು ನಡೆಸಿ, ಬಹಳ ಪ್ರಮುಖವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಿ ಯಶಸ್ವಿಯಾದನು.

ಮೋಸ್ಲಿ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಮುಖ್ಯ ಫಲಿತಾಂಶಗಳು ಹೀಗಿದ್ದುವು.

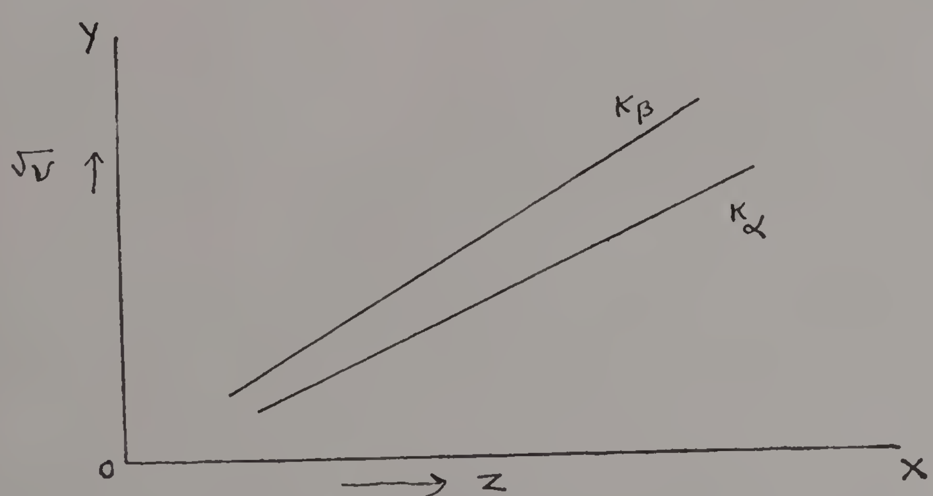
(1) X-ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ರೇಖೆಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಗುಂಪುಗಳನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. K -ಶ್ರೇಣಿ – ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಅವಧಿ ಮತ್ತು L – ಶ್ರೇಣಿ – ಹೆಚ್ಚು ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಅವಧಿ.

(2) X-ಪಟಲ ರೇಖೆಗಳು ದ್ಯುತೀಯ (optical spectra) ರೇಖೆಗಳಷ್ಟು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾಗಿರದೆ, ಕಡಮೆ ಸಂಖ್ಯೆಯ ರೇಖೆಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡು ಸರಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ.

(3) X- ರೇಖೆಯ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (ν) ಗೂ, ಆ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (Z) ಗೂ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಒಂದು ಸರಳ ಸೂತ್ರವಿದೆ.

ಇದನ್ನು $\sqrt{\nu} = a(Z-b)$. (a, b ನಿಯತಾಂಕಗಳು) ... 6.31

ಎಂದು ಬರೆದರೆ, $\sqrt{\nu}$, Z ಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ ಸರಳ ರೇಖೆಯು ಬರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರವು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ,



ಚಿತ್ರ 6.4 ಮೋಸ್ಲಿ ನಿಯಮ.

ಈ ಸೂತ್ರದಲ್ಲಿ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುವ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ :- ಆವರ್ತ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ಪುನರಾವರ್ತನೆಯ ಜೋಡಣೆಯಲ್ಲಿ ನಾವು ಗಮನಿಸ

ಬೇಕಾದುದು ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (Z) ಯೇ ಹೊರತು ಅದರ ಪರಮಾಣುತೂಕ (A) ಅಲ್ಲ. ಇದಕ್ಕೆ ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ, ಆರ್ಗಾನ್ ಮತ್ತು ಪೊಟಾಸಿಯಂಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದಲ್ಲಿ,

A ಗೆ Z = 18, ಪರಮಾಣು ತೂಕ 40.

K ಗೆ Z = 19 ಪರಮಾಣು ತೂಕ 39.

ಪೊಟಾಸಿಯಂ ಪರಮಾಣು ತೂಕವು ಆರ್ಗಾನ್‌ಗಿಂತ ಕಡಮೆಯಾದರೂ, ಅದರ ಸ್ಥಾನವು ಮಾತ್ರ ಆರ್ಗಾನ್‌ಗೆ ನಂತರವೇ ಎಂದು ಸಿದ್ಧವಾಗಿದೆ. ಅಂದರೆ ಅದರ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ (Z = 19) ಯು ಆರ್ಗಾನ್ (Z = 18) ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದೇ ಕಾರಣ. ಈ ಮೋಸ್ಲಿ ಸೂತ್ರವು ಮತ್ತೊಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ ಬಹಳ ಪ್ರಮುಖವಾಗಿದೆ. ಇದರಿಂದ ಹ್ಯಾಫ್ನಿಯಂ (Hf, Z = 72), ಇಲ್ಲಿನಿಯಂ (Z = 61) ಮುಂತಾದ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.

ಈ ಸಮೀಕ್ಷೆಯಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾದ ಇತರ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಹೀಗಿವೆ :

1. ಒಂದು ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುವಿನ X- ಪಟಲದಲ್ಲಿ ಇರುವ ರೇಖೆಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಆ ವಸ್ತುವಿನ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೂ ಉದ್ರೇಕ ವೋಲ್ಟೇಜ್ (excitation potential) ಪ್ರಮಾಣವನ್ನೂ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ.

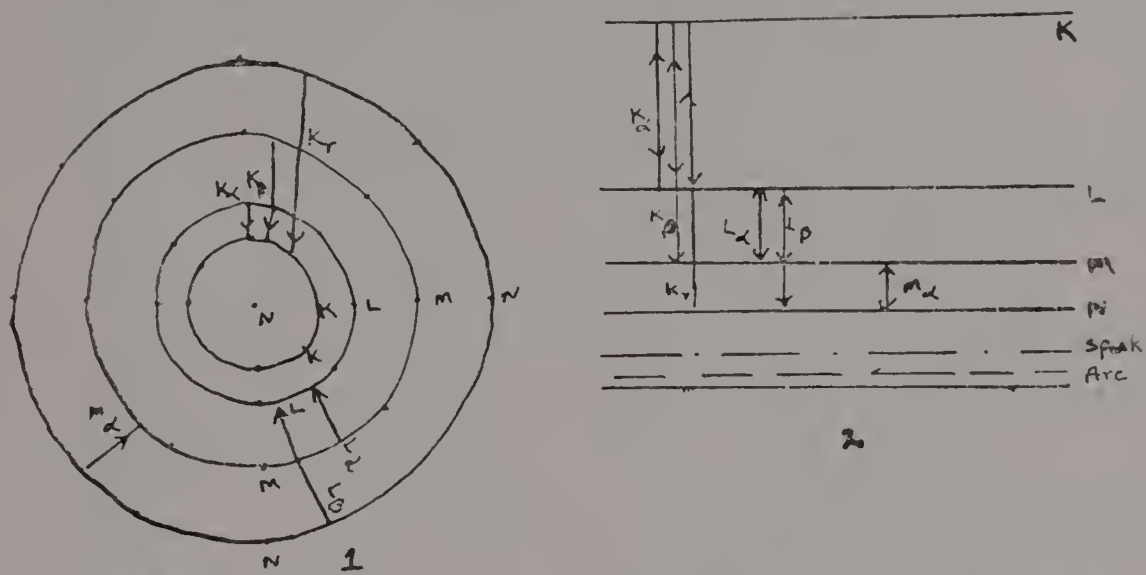
2. V, Th ಮುಂತಾದ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಸಂಪೂರ್ಣ ಪಟಲವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, K, L, M, N ಶ್ರೇಣಿಗಳು ಕಂಡುಬರುತ್ತವೆ. ಹಗುರವಾದ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪಟಲದಲ್ಲಿ ಕೆಲವೇ ಶ್ರೇಣಿಗಳೂ ಮತ್ತು ಸ್ವಲ್ಪ ರೇಖೆಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರುತ್ತವೆ.

3. ಒಂದೊಂದು ಶ್ರೇಣಿಗೂ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಉತ್ಪಾದನೆ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಇರುತ್ತದೆ. K ಶ್ರೇಣಿಗೆ ಒಂದು ಮೌಲ್ಯವೂ, L ಶ್ರೇಣಿಗೆ, ಮೂರು ಉಪ ಶ್ರೇಣಿಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುವ ವಿವಿಧ ವೋಲ್ಟೇಜುಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ.

4. X-ಪಟಲದ ರಚನೆಯು ಮೂಲ ವಸ್ತುವಿನ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (isotopes) ಗಳ ರಚನೆಯನ್ನಾಗಲಿ, ರಾಸಾಯನಿಕ ಸಂಯೋಗದ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನಾಗಲಿ ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದಿಲ್ಲ.

5. K ಶ್ರೇಣಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಗುಂಪೂ, L ನಲ್ಲಿ ಮೂರು ಉಪ ಗುಂಪು (sub-groups)ಗಳೂ, M ನಲ್ಲಿ ಐದು ಉಪ ಗುಂಪುಗಳೂ ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಉಪರೇಖೆಗಳೂ (satellites) ಇರುವುವು.

6.9 ಕಾಸೆಲ್ ಚಿತ್ರ ಮತ್ತು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ನಿರೂಪಣೆ



ಚಿತ್ರ (i) ಕಾಸೆಲ್ ಚಿತ್ರ (ii) X–ಪಟಲ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳ ಚಿತ್ರ

ಚಿತ್ರ 6.5 X-ಕಿರಣಗಳ ವರ್ಣ ಪಟಲ ರಚನೆ

X-ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪಟಲ ರೇಖೆಗಳಿಗೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನ ವಲನಕ್ಕೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತೋರಿಸುವ ಕಾಸಲ್ ಚಿತ್ರವನ್ನು 6.5 (i) ಅಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

K ಶ್ರೇಣಿಯನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಈ ಶ್ರೇಣಿಯ ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗ ಬೇಕಾದರೆ, ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ L, M, N...ಕವಚಗಳಿಂದ K ಕವಚಕ್ಕೆ ಹಾರ ಬೇಕು. ಇವುಗಳನ್ನು Kα, Kβ, Kγ ಎಂದು ಗುರುತಿಸಿದೆ. ಹಾಗೆಯೇ L ಶ್ರೇಣಿಯ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಕಾರಣ, M, N ಕವಚಗಳಿಂದ L ಕವಚಕ್ಕೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದು.

ಜಲಜನಕ (H), ಹೀಲಿಯಂ, ಮುಂತಾದ ಆರೆ ಹಗುರ ಮೂಲ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಲಾಗುವ ದ್ಯುತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳನ್ನು K ಶ್ರೇಣಿಯ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದು. ಲೈಮಾನ್, ಬಾಮರ್ ಮತ್ತು ಪಾಷನ್ ಶ್ರೇಣಿಗಳನ್ನು ಕ್ರಮ ವಾಗಿ K, L, M ಶ್ರೇಣಿಗಳಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಅತಿ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳ X-ಪಟಲದಲ್ಲಿ K-L ಶ್ರೇಣಿಗಳು X-ಪಟಲದ ಅವಧಿಗೂ, P-Q ಶ್ರೇಣಿ ಗಳು (ಹೊರಗಣ) ನೀಲಾತೀತ (ultra-violet) ಅವಧಿಗೂ ಸರಿಹೊಂದುತ್ತವೆ.

ಈಗ ಚಿತ್ರ 6.5 (ii) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳ ಶ್ರೇಣಿ ಯಲ್ಲಿಯೂ, Kα, Kβ, Lα, Lβ... ಮುಂತಾದ ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿದೆ. ಒಂದೊಂದು ಪರಿವರ್ತನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ತೋರಿಸಿರುವ ದ್ವಿಮುಖ ಸೂಚಿ (arrow-head at each end) ಯ ಅರ್ಥವು ಹೀಗಿದೆ. Kα

ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ L ಕವಚದಿಂದ K ಕವಚಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಬೇಕು. ಈ ರೇಖೆಯು ಉತ್ಸರ್ಜನೆಯಾಗುವ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಇಡೀ ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯು ಕಡಮೆಯಾಗಿ, K ಮಟ್ಟದಿಂದ L ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ. ಇವೆರಡೂ ಏಕಕಾಲಿಕವಾಗಿ ಸಂಭವಿಸುವುದರಿಂದ ಸೂಚಿಯನ್ನು ಎರಡು ತುದಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಗುರುತಿಸಿದೆ.

ದ್ಯುತೀಯ ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಹೊರಗಿನ ಕವಚದಲ್ಲಿನ ಮುಕ್ತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಚಲನ ವಲನಗಳು ಕಾರಣವಾದರೆ, ಸಾಮಾನ್ಯ X- ಪಟಲವು ಕಿಡಿ (spark) ಪಟಲದಿಂದ ಆಚೆಗೆ ವಿಸ್ತರಿಸಿರುವ ವಿವಿಧ ಮಟ್ಟಗಳಾದ N, L, M, K ಅವಧಿಗಳು ಹಬ್ಬಿರುತ್ತವೆ. ಹೊರಗಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಆ ಪರಮಾಣುವು ಅಯನೀಕೃತವಾಗುತ್ತದೆ (ionised). ಇದರ ರೇಖೆಗಳು ಕಿಡಿಪಟಲ (spark spectrum) ಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಒಳಗಿನ ಕವಚಗಳಾದ N, L,...... ವಲಯಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬಿದ್ದು ಆಸ್ಥಾನವನ್ನು ಭರ್ತಿಮಾಡಲು, ವಿವಿಧ ಕವಚಗಳ ನಡುವೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುವಾಗ X-ಪಟಲ ರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ ಎಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಇದನ್ನೇ ಚಿತ್ರ 6. 5 (b) ಯಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ಮಟ್ಟಗಳ ಮೂಲಕ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ.

ಇನ್ನೂ X-ಪಟಲ ರೇಖೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳಿಗೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳಿಗೂ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸೂತ್ರಗಳ ಅನ್ವಯವನ್ನು ತಾತ್ತ್ವಿಕವಾಗಿ ನಿರೂಪಿಸುವ ಅವಶ್ಯಕತೆ ಇದೆ.

Kα ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, K ಕವಚದಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದನ್ನು ಕಳಚುವಂತೆ ಮಾಡಿ ಆಸ್ಥಾನವನ್ನು ನಂತರ ಭರ್ತಿ ಮಾಡಬೇಕು. ಹೀಗೆ K ಕವಚದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಅದು ಉಳಿದ L, M... ಕವಚಗಳು ಭರ್ತಿಯಾಗಿರುವಾಗ ಅಲ್ಲಿ ಹೋಗುವಂತಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ, ಈ K ಕವಚದಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ಕೀಳಬೇಕಾದರೆ ಬೇಕಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಅದನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದ ಹೊರಕ್ಕೆ ತಳ್ಳಿ, ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಅಯನೀಕೃತ ಮಾಡಬೇಕು. ಈ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪಾದನೆಯ ವೋಲ್ಟೇಜಿನಿಂದಲೇ ಬರಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಪ್ರಮಾಣವು Kα ರೇಖೆಯ ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸತಕ್ಕ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿಯೇ ಇರಬೇಕು. ಮಾಲಿಬ್ಡಿನಂ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನ X-ಕಿರಣನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 20,000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಉತ್ಪಾದನಾ ಶಕ್ತಿಯು ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಇದು K-ಕವಚದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ನ ಬಂಧನ ಶಕ್ತಿ (binding energy) ಗೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು.

ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯು Z ಆಗಿದ್ದು, ಜಲಜನಕದ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿದ್ದರೆ, ಅದರ ಬಂಧನ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮನಾದ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಪ್ರಮಾಣವು

$$V_n = 13.6.\frac{Z^2}{n^2}\text{ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳು } (n = \text{ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ}) \quad \ldots \quad 6.32$$

ಅಂದರೆ ಇದು Z^2ಗೆ ಅನುರೂಪವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ.

K ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ n = ಪ್ರಧಾನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ = 1. ಮೊಲಿಬ್ಡಿನಂ (Mo)ಗೆ $Z = 42 \therefore V_k = 13.6 \times 42^2 = 23{,}980$ ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳು, ಇದು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಪಡೆದಿದೆ.

ಈಗ ಮೋಸ್ಲಿ ಸೂತ್ರವನ್ನೂ ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವವನ್ನೂ ವಿಸ್ತರಿಸುವುದರಿಂದಲೇ ಸಾಧಿಸಬಹುದು.

ಈಗಾಗಲೇ ಸಾಧಿಸಿರುವ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ 6.7

$$\nu = R\cdot Z^2\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$$

R = ರಿಡ್‌ಬರ್ಗ್‌ನಿಯತಾಂಕ (ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಮಾನದಲ್ಲಿ)

$n_1 = 2 \quad n_2 = 1$ (K ಕವಚಕ್ಕೆ $n_2 = 1$, L ಕವಚಕ್ಕೆ $n_1 = 2$)

$$\nu = \frac{4}{3}\cdot R.\ Z^2.$$

ಅಂದರೆ $\nu \, a \, Z^2$ ಇದೇ ಮೋಸ್ಲಿ ಸೂತ್ರ.

ತಾಮ್ರ (Cu)ದ $K\alpha$ ರೇಖೆಗೆ, ಮೋಸ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗದ ಪ್ರಕಾರ $\lambda(K\alpha) = 1.54$ A°)

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1.54 \times 10^{-10}} = 1.95 \times 10^{18}$$

ಈಗ ಭೋರ್ ಸಮೀಕರಣ (6.7)ಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಾಗ, R,Z ಗಳ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಕೂಡಿಸಿದರೆ, Z = 29 ·

$R = 109{,}700 \times 3 \times 10^{10}$ (ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಮಾನ)

$\nu = 2.07 \times 10^{18}$ ಆಗುತ್ತದೆ.

ಇದು ಪ್ರಯೋಗದ ಮೌಲ್ಯವಾದ 1.95×10^{18} ಗೆ ಅತಿ ಸಮೀಪವಾಗಿದೆ.

ಹೀಗೆಯೇ, $L\alpha$ ರೇಖೆಗೆ, $n_2 = 2$; $n_1 = 3$.

$$\nu = \frac{5}{36}\cdot R \times Z^2$$

ಪ್ಲಾಟಿನಂ Pt (Z = 78) ಗೆ ಮೋಸ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗದ ತರಂಗಾಂತರ = 1.32 A°. ಇದರ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (ν) ಯನ್ನೂ ಕಂಡುಹಿಡಿದು, ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು. ಆದರೆ ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯು ಅಷ್ಟು ಸಮೀಪವಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ಹಲವಾರು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೂ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ವಿದ್ಯುದಂಶಕ್ಕೂ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಕ್ಕೆ ಒಂದು ತಿದ್ದುಪಡಿಯ ಅವಶ್ಯಕತೆಯು ಬರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ನಮಗೆ ತಿಳಿದುಬರುವ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ :— ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವವು ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳ ಪಟಲಗಳಿಗೂ ಸರಿಯಾದ ಸಮರ್ಥನೆಗೆ ಒಳಗಾಗಲಾರದು. ಒಂದೇ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯ (single electron) ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಾಣಿಕೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ.

6.10 ಅಣುಗಳ ಪಟಲ ರೇಖೆಗಳು (Molecular Spectra)

ಇದುವರೆವಿಗೂ ನಾವು ವಿವರಿಸಿದ ವರ್ಣಪಟಲಗಳ ರಚನೆಯು ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟದ್ದು. ಈಗ ನಾವು ಅಣುಗಳಿಗೆ (molecules) ಅನ್ವಯವಾಗುವ ವರ್ಣಪಟಲಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಬೇಕು.

ಅಣುಗಳ ವರ್ಣಪಟಲಗಳನ್ನು ತಂಡ ಪಟಲ (band spectra) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಪರಮಾಣುಗಳ ಪಟಲಗಳಲ್ಲಿ ಚೂಪಾದ ರೇಖೆಗಳಿದ್ದರೆ, ಅಣುಗಳ ಪಟಲಗಳಲ್ಲಿ ನಾವು ತಂಡಗಳನ್ನು ಕಾಣುತ್ತೇವೆ. ಒಂದು ತಂಡವೆಂದರೆ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ವೀಕ್ಷಣೆಯಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಒತ್ತಾಗಿ ಸೇರಿಕೊಂಡಿರುವ ರೇಖೆಗಳ ಸಮೂಹವೆಂದು ಗಣಿಸಬಹುದು. ಒಂದು ತಂಡಕ್ಕೆ ಒಂದು ಶಿರಸ್ಸು (head) ಇದ್ದು ಅಲ್ಲಿಂದ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರದವರೆಗೆ ಕಾಂತಿಯು (intensity) ಕ್ರಮೇಣ ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಕಡಮೆ ಕಾಂತಿಯ ಪ್ರದೇಶವು ಮಸಕಾಗಿ (hazy)ದ್ದು ಸ್ವಲ್ಪ ಅಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿರುವಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ. ವಿವಿಧ ರಚನೆಯ ಅಣುಗಳ ವರ್ಣ ಪಟಲಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಅಂತರಗಳಲ್ಲಿರುವ ಹಲವು ತಂಡಗಳ ಗುಂಪುಗಳೂ (groups), ಇಂಥ ಹಲವು ಸಮೂಹಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಒಂದು ವ್ಯವಸ್ಥೆಯೂ ಕಂಡು ಬರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಅವಧಿಗಳು ಅತಿ ದೂರದ ರಕ್ತಾತೀತ (far-infra-red) [ಅಂದರೆ ಸುಮಾರು (150 μ – 30μ)] ದಿಂದ ದೃಶ್ಯ ಮತ್ತು ನೀಲಾತೀತ (visible & ultra violet) [ಸುಮಾರು 1000A°] ಪ್ರದೇಶದವರೆಗೆ ಹಬ್ಬಿರುತ್ತವೆ.

ಅಣುಗಳ ವರ್ಣಪಟಲಗಳಿಗೆ ಮೂಲಸ್ಥಾನಗಳು ಅಣುಗಳಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಆ ಅಣುಗಳಿಗೆ ಇರಬಹುದಾದ ಶಕ್ತಿಸ್ಥಿತಿ ಮಟ್ಟ (energy levels)ಗಳ ನಡುವಣ ಪರಿವರ್ತನೆಯಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯೇ ಪಟಲದ ತಂಡಗಳಾಗಿ ಕಾಣಿಸಿ

ಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳಿಗೂ ನಾವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೇ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಅಣುಗಳು ವಿವಿಧ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಯೋಜನೆಯಿಂದ ಉಂಟಾಗುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ಅಸ್ತಿತ್ವಕ್ಕೆ ಸಂಯೋಜಿತ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವಣ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಬಂಧನವೇ ಕಾರಣವಾಗಿರಬೇಕು. ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿಯೂ, ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಬೀಜವೂ ಅದರ ಸುತ್ತ ವಿವಿಧ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುವ ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳಿರುವುವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಹೀಗಿರುವಲ್ಲಿ ಈ ಅಣುವಿನ ಬಂಧನದ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ತಿಳಿದರೆ ಮಾತ್ರ ಅದರ ಚಲನವಲನಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಬಂಧನದಲ್ಲಿ (binding) ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಮಾದರಿಗಳಿವೆ.

ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನೊಳಗೊಂಡ ಒಂದು ಅಣುವಿನಲ್ಲಿ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗಳು ಎರಡು ವಿಧವಾಗಿರಬಹುದು. ಮೊದಲನೆಯದು ಅಯನೀಯ ಬಂಧನ (ionic binding). ಇದನ್ನು NaCl ಅಣುವಿನ ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ವಿವರಿಸಬಹುದು. ಒಂದು NaCl ಅಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ಅಂಗಗಳು Na ಮತ್ತು Cl. ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹೀಕಣಗಳಾಗಿದ್ದು (ions) ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು Na^+, Cl^- ಎಂದು ಗುರುತಿಸಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಸೋಡಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಹೊರಗಡೆ ಇರುವ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕ್ಲೋರೀನ್ ಪರಮಾಣುವಿನೊಳಗೆ ಸೇರಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ Na^+ ಅಯಾನಿನಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರದ $+11e$ ಮತ್ತು ಹತ್ತು ಹೊರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ $-10e$ ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ ಸೇರಿಕೊಂಡು ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ $+e$ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. Cl^- ಅಯಾನಿನಲ್ಲಿ ಕ್ಲೋರೀನ್ ಪರಮಾಣುವಿನೊಂದಿಗೆ ಒಂದು ಹೆಚ್ಚು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸೇರಿ $(-e)$ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುತ್ತದೆ. Na^+ ಅಯಾನು ರಚನೆಯಲ್ಲಿ Ne (ನಿಯಾನ್) ಅನ್ನೂ Cl^- ಅಯಾನ್ A (ಆರ್ಗ್ಾನ್) ಅನ್ನೂ ಹೋಲುತ್ತವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, Na^+, Cl^- ಅಯಾನುಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಕರ್ಷಣೆಯು ಕೂಲಂಬ್ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ NaCl ಅಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯು ವಿರುದ್ಧ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅಣುಗಳ ನಡುವಣ ಬಲಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಸಂಯೋಜಕ ಬಂಧನವೆಂದೂ (electro-valent) ಕರೆಯಬಹುದು.

ಎರಡನೆಯ ಮಾದರಿಯ ಬಂಧನವನ್ನು ಸಹ ಸಂಯೋಜಕ ಬಂಧನ (co-valent) ವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಜಲಜನಕ, ಸಾರಜನಕ ಅನಿಲಗಳ ಅಣುಗಳನ್ನು ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು H_2, N_2 ಎಂದು

ಕರೆಯಬಹುದು. ಒಂದು ಜಲಜನಕದ ಅಣುವಿನಲ್ಲಿ ಎರಡು ಒಂದೇ ರಚನೆಯ ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿವೆ. ಇದರ ಎರಡು ಅಂಗಗಳಾದ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವೆ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಂಧನವಿರಲು ಕಾರಣವಿಲ್ಲ. ಹಾಗಿದ್ದರೆ, ಇವುಗಳಿಗೆ ಹೇಗೆ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಲು, ಆಧುನಿಕ ತರಂಗ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ (Wave mechanics) ದ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಇದರಲ್ಲಿ ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ವಿನಿಮಯ (exchange) ಗೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಈ ವಿನಿಮಯದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುವ ಬಲಗಳೇ (exchange forces) ವಿನಿಮಯ ಬಲಗಳು— ಈ ವಿನಿಮಯ ದಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಭ್ರಮಣ (spins) ಗಳು ವಿರೋಧ ದಿಶೆಗಳಲ್ಲಿ (oppositely directed) ಇರಬೇಕು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ವಿನಿಮಯ ವಾಗುವ ಈ ಬಂಧನವನ್ನು ಸಹಸಂಯೋಗ ಬಂಧನವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಅಣುವನ್ನು ಅದರ ಅಂಗ ಗಳಾಗಿ ಭೇದಿಸಲು ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ವಿಯೋಗಶಕ್ತಿ (dissociation energy) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದು ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಬಂಧನ ಶಕ್ತಿಗೆ ಸಮವಾಗಿರಬೇಕು. NaCl ಅಣುವಿಗೆ ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವು 4.24 e.v. ಮತ್ತು ಜಲಜನಕ ಅಣುವಿಗೆ 4.48 e.v. ಸಮ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರ ದೂರವು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು.

ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಬಂಧನಗಳೇ ಅಲ್ಲದೆ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವಣ ಬಂಧನವು ಸಡಿಲ ರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದು. ಇದನ್ನು ವಾನ್‌ಡರ್-ವಾಲ್ ಮಾದರಿಯ ಅಥವಾ ಸಂಸಕ್ತ ಬಂಧನ (cohesion binding) ವೆಂದೂ ಕರೆಯಬಹುದು. Hg_2, Cd_2... ಅಣುಗಳು ಈ ಮಾದರಿಯ ಉದಾಹರಣೆಗಳು.

ಲೋಹಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡುವ ಬಂಧನದ ಸ್ವರೂಪವು ಮತ್ತೊಂದು ಮಾದರಿ. ಇದನ್ನು ಆಲೋಹ (metallic) ಬಂಧನವೆಂದು ಕರೆಯ ಬಹುದು. ಲೋಹದಲ್ಲಿರುವ ಮುಕ್ತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನುಗಳು ಇದರಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರ ವನ್ನು ವಹಿಸುತ್ತವೆ. ಇದಕ್ಕೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದಿಂದಲೇ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಪಡೆಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಈಗ ಅಣುಗಳ ಚಲನದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿವಿಧ ರೂಪಗಳ ವರ್ಣ ಪಟಲಗಳಿಗೆ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಕಾರಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು.

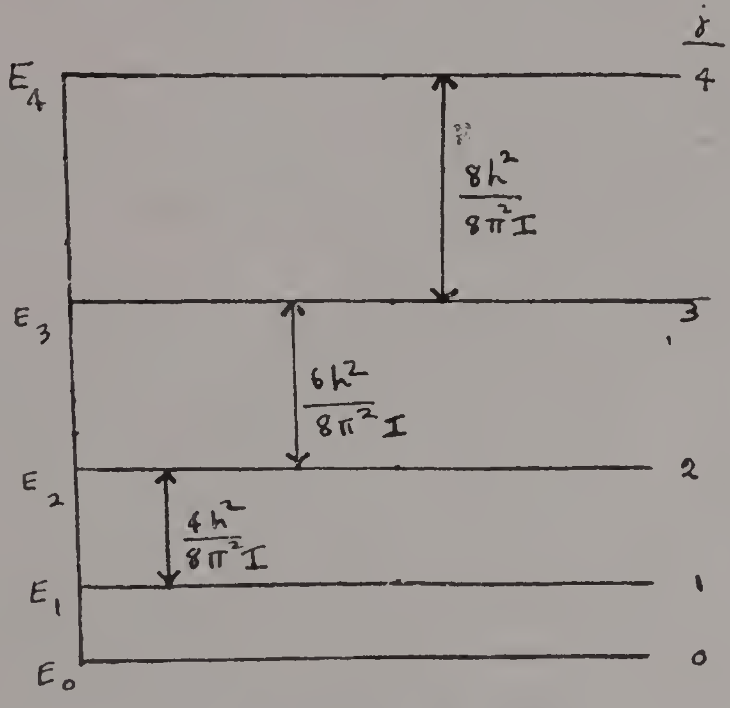
ಸುತ್ತುಚಲನ ಪಟಲಗಳು (Rotation Spectra)

ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಅಣುವನ್ನು ಇಗ್ಗುಂಡು (dumb-bell) ವಿನಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಇವುಗಳ ಗುರುತ್ವ ಕೇಂದ್ರದ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವ ಅಕ್ಷದ ಸುತ್ತ ಅಣುವು ಸುತ್ತುವಂತೆ ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣದ ಚಲನಶಕ್ತಿ (kinetic energy) ಯು ಇರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಕೆಲವೇ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯಗಳು ಇರಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ, ವಿವಿಧ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳು ಕೆಳಗಿನ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುವುದಾಗಿ ತಿಳಿಯು ಬರುತ್ತದೆ.

$$E_j = \frac{h^2}{8\pi^2 I}\, j\left(j+1\right). \qquad \cdots \quad 6.33$$

ಇಲ್ಲಿ j ಎಂಬುದು ಆ ಸ್ಥಿತಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ. ಇದರ ಮೌಲ್ಯ O, 1,2,3,...... ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿರಬಹುದು. I= ಅಣುವಿನ ಜಡತ್ವದ ಮಹತ್ವ (Moment of inertia).

ಒಂದು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟದಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವಾಗ ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಪಟಲರೇಖೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳು $\triangle J = \pm 1$ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಬೇಕು.



6.6 ಅಣುವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳು

ಚಿತ್ರ 6.6 ರಲ್ಲಿ ಕಾಣುವಂತೆ, ವಿವಿಧಮಟ್ಟಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತು ಮಾಡಬಹುದು.

$$E_2 - E_1 = \frac{4h^2}{8\pi^2 I} \; ; \; \nu_1 = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{h}{8\pi^2 I} \cdot 4$$

$$E_3 - E_2 = \frac{6h^2}{8\pi^2 I} \quad \nu_2 = \frac{E_3 - E_2}{h} = \frac{h}{8\pi^2 I} \cdot 6 \qquad \dots \; 6.34$$

ಈ ಶಕ್ತಿವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳೆಲ್ಲವೂ $\left[\frac{h^2}{8\pi^2 I}\right]$ ಎಂಬುದರ ಪೂರ್ಣಾಂಕ ಗುಣಕಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

$\nu_1, \nu_2 \cdots\cdots$ ಗಳು ಪಟಲರೇಖೆಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಾದರೆ,

$$(\nu_2 - \nu_1) = \frac{2h}{8\pi^2 I} \cdot = \nu_3 - \nu_2 = \quad \dots \dots \qquad \dots \; 6.35$$

ಇವುಗಳೆಲ್ಲ ಒಂದೇ ಅಂತರದ ಕಂಪನಸಂಖ್ಯೆಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ರಕ್ತಾತೀತ ಅವಧಿಗಳಲ್ಲಿರುವುವು.

ಸ್ಪಂದನ–ಸುತ್ತುಚಲನ–ಪಟಲಗಳು (Vibration-Rotation spectra),

ಅಣುವಿನಲ್ಲಿ ಸಂಯೋಗವಾಗಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳು, ಅವುಗಳ ಸ್ಥಿತಿಸ್ಥಾಪಕ ಬಲಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಪರಸ್ಪರ ಸ್ಪಂದನಗಳನ್ನು ಮಾಡಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿಗೆ ಕ್ವಾಂಟಂಸಿದ್ಧಾಂತದ ಸೂತ್ರಗಳನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಪಟಲ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಒಂದು ಅಣುವಿಗೆ, ಈ ಸ್ಪಂದನ ಮತ್ತು ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವ ಸುತ್ತು ಚಲನಗಳೆರಡು ಇರಬಹುದಾದರಿಂದ, ಈ ಎರಡು ಶಕ್ತಿಗಳ ಒಟ್ಟು ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು.

E_{r1}, E_{r2} ಗಳು ಸುತ್ತುಚಲನ ಶಕ್ತಿಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನೂ E_{V1}, E_{V2} ಗಳು ಸ್ಪಂದನ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನೂ ಕ್ರಮವಾಗಿ ಎರಡು ಸ್ಥಿತಿಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ,

$$\nu = \frac{E_{V1} - E_{V2}}{h} + \frac{E_{r1} - E_{r2}}{h} = \nu_r + \nu_v \qquad \dots \; 6.36$$

$\nu_r = \nu_o \; (m_1 - m_2)$ (m_1, m_2 ಗಳು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು)

... 6.37

ಎಂದು ಬರೆಯಬಹುದು.

ಈ ಎರಡು ಚಲನಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ರೇಖೆಗಳು, ಸಮೀಪ ರಕ್ತಾತೀತ (near infra-red) ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಇರುವುವು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವರ್ಣಪಟಲ (Electron - spectra)

ಮೇಲಿನ ಎರಡು ವಿಧವಾದ ಚಲನೆಗಳ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನವಲನಗಳನ್ನೂ ಗಮನಿಸಬೇಕು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಗಳು ಉಳಿದ ಎರಡು ವಿಧಗಳಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಬಹಳ ಸಮೀಪವರ್ತಿಯಾಗಿರುವ ಹಲವಾರು ರೇಖೆಗಳನ್ನು ದೃಕ್ ಗೋಚರ (visible) ಮತ್ತು ನೀಲಾತೀತ (ultra-violet) ಅವಧಿಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು.

ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನವಲನಗಳಿಂದ, ಉಳಿದ ಸ್ಪಂದನ-ಸುತ್ತುಚಲನಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ, ನಮಗೆ ತಂಡಗಳ ಗುಂಪುಗಳೇ (band groups) ಕಾಣಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದುದರಿಂದ ನಾವು ಈ ಅಣುಗಳ ವರ್ಣಪಟಲಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅರಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿರುವ ಮೂರು ಬಗೆಯ–ಅಂದರೆ, ಸುತ್ತುಚಲನೆ, ಸ್ಪಂದನ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್–ಶಕ್ತಿಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಬರುವ ಅಂತಿಮ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾಗುವುದು.

6.11 **ರಾಮನ್ ಪರಿಣಾಮಕ್ರಿಯೆ** (Raman Effect)

ಭಾರತದ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿ ಸಿ. ವಿ. ರಾಮನ್ 1928ರಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಚದರುವಿಕೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ (scattering of light) ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದರು. ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಈ ಸಂಶೋಧನೆಯು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮಹತ್ವಸ್ಥಾನವನ್ನು ಪಡೆದಿದೆ. ಇದನ್ನೇ ಈಗ 'ರಾಮನ್ ಪರಿಣಾಮಕ್ರಿಯೆ' ಎಂದು ಕರೆಯುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ.

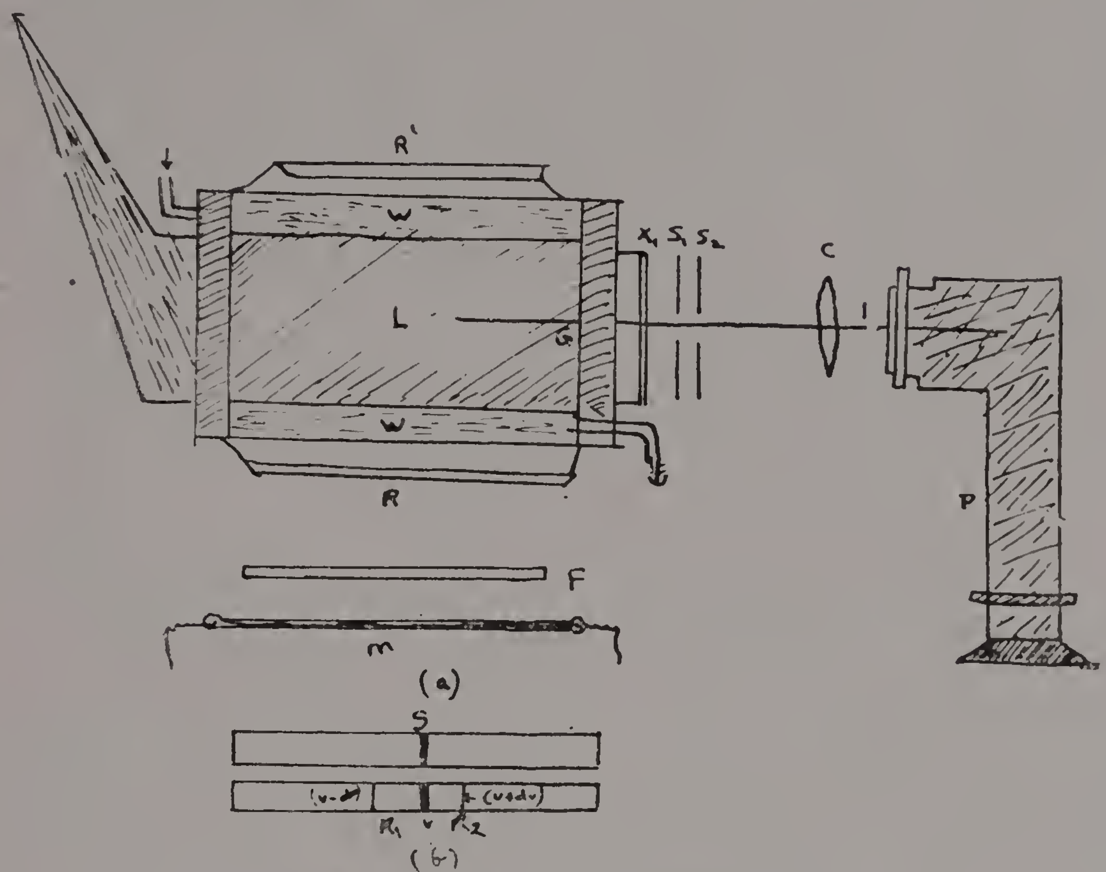
ಮೊದಲಿನಿಂದಲೂ, ಸಿ. ವಿ. ರಾಮನ್‌ಗೆ ಒಂದು ಹಂಬಲವಿದ್ದಿತು. ಸಾಗರದ ನೀಲಿ ಬಣ್ಣಕ್ಕೂ, ಆಕಾಶದ ನೀಲಿ ಬಣ್ಣಕ್ಕೂ ಕಾರಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದರಲ್ಲಿ ತಮ್ಮ ಗಮನವನ್ನು ಹರಿಸಿದ್ದರು. ಇದು ಬೆಳಕಿನ ಚದುರುವಿಕೆಯ ಗುಣಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದರಿಂದ ಅವರು ಹಲವಾರು ಸಾವಯವ ದ್ರವ (organic liquids) ಗಳಿಂದ ಬೆಳಕು ಚದುರಿಸಲ್ಪಡುವುದರ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಪರೀಕ್ಷಿಸುತ್ತಿದ್ದರು. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ನಿರತರಾಗಿರುವಾಗಲೇ ಒಂದು ಹೊಸ ಅಂಶವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಸಫಲರಾದರು. ಅವರು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಿದ್ದ ಉಪಕರಣವು ಸರಳವಾದರೂ, ಪ್ರಯೋಗದ ಫಲಿತಾಂಶವು ಹಿಂದೆ ಯಾರಿಗೂ ಹಸ ಗತವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ.

ಒಂದು ಗಾಜಿನ ಪಾತ್ರೆಯಲ್ಲಿ ಟೊಲೀನ್ ಅಥವಾ ಬೆನ್‌ಜೀನ್ ದ್ರವವನ್ನು ತುಂಬಿ, ಅದರ ಒಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಪಾದರಸ ಹಬೆಯ ದೀಪದಿಂದ ಬರುವ ಬೆಳಕನ್ನು ಕೇಂದ್ರೀಕರಿಸಿ ದ್ರವದ ಮೇಲೆ ಬೆಳಗುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಪಾದರಸದ ಬೆಳಕಿನಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ತರಂಗಾಂತರಗಳು ಅಡಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಒಂದು ಶೋಧಕದ (filter) ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿ ಅದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಬೆಳಕಿನಲ್ಲಿ 4358A° ತರಂಗಾಂತರದ ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಯು ಮಾತ್ರ ಇರುವಂತೆ ಮಾಡಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಬೆಳಕು ಪಾತ್ರೆಯೊಳಗಿನ ದ್ರವದ ಅಣುಗಳಿಂದ ಚದರಿಸಲ್ಪಟ್ಟು, ಈ ಚದರಿದ ಬೆಳಕು ಹಲವಾರು ನೇರಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳಬಹುದು. ಆದರೆ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಮೂಲ ನೇರಕ್ಕೆ ಲಂಬವಾಗಿರುವ (90°)ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಚದರಿರುವ ಬೆಳಕು ಒಂದು ವರ್ಣಪಟಲಮಾಪಕ (spectrograph) ದ ಮೇಲೆ ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿರುವ ಮುಪ್ಪಟ್ಟೆಯಲ್ಲಿ (prism) ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಿದನಂತರ ಛಾಯಾ ತಟ್ಟೆ (photographic camera) ಯ ಮೇಲೆ ಪ್ರತಿಬಿಂಬಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ತಟ್ಟೆಯ ಮೇಲೆ ಮುದ್ರಿತವಾಗಿರುವ ಬೆಳಕನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಿದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ದೃಶ್ಯವು ಹೀಗಿದ್ದಿತು. ಮೂಲ ರೇಖೆಯಾದ 4358A° ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಯ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಒಂದೇ ಅಂತರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಡಮೆ ಪ್ರಕಾಶದ ಎರಡು ಹೊಸ ರೇಖೆಗಳು ಕಂಡುಬಂದವು. ಇಂಥ ರೇಖೆಗಳು ಹಿಂದೆ ಯಾವ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಕಂಡುಹಿಡಿಯದೆ ಇದ್ದದ್ದರಿಂದ ಇದೇ ಒಂದು ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಯಾಯಿತು. ಇದನ್ನು ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಿದ ಮೇಲೆ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆ (Raman effect), ಹೊಸ ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳೆಂದು ಹೆಸರಿಡಲಾಯಿತು.

ಮೊತ್ತಮೊದಲು ರಾಮನ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಗೋಚರವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕಾದರೆ, ಬೆಳಕನ್ನು ದ್ರವದ ಮೇಲೆ ಹತ್ತಾರು ಘಂಟೆಗಳ ಕಾಲ ಬೆಳಗಿಸಬೇಕಾಗಿದ್ದಿತು. ಆದರೆ, ಈ ಸಂಶೋಧನೆಯು ಹೊರಬಿದ್ದ ಮೇಲೆ, ಪ್ರಪಂಚದ ನಾನಾ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದರ ಫಲವಾಗಿ,ಅದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದರ ಮೂಲಕ, ಕೆಲವೇ ನಿಮಿಷಗಳಲ್ಲಿ ಹೊಸರೇಖೆಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಉಲ್ಲೇಖಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ವುಡ್ (Wood) ಎಂಬ ಅಮೆರಿಕನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ನಿರ್ಮಿಸಿದ ಉಪಕರಣದ ಒಂದು ಮಾದರಿಯ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಚಿತ್ರ (6.7) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಲಾಗಿದೆ.

M ಎಂಬುದು ಪಾದರಸದ ಹಬೆಯ ದೀಪ—ಇದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಬೆಳಕನ್ನು F ಶೋಧಕದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದಮೇಲೆ ಒಂದೇ ತರಂಗಾಂತರದ (4358A°) ರೇಖೆಯ ಬೆಳಕು ಗಾಜಿನ ನಾಳಿಕೆ (T) ಯಲ್ಲಿರುವ L ದ್ರವದ ಮೇಲೆ ಬೀಳುತ್ತದೆ.

ಈ ನಾಳಿಕೆಯು ಸುಮಾರು 15 ಸೆಂ. ಮೀ. ಉದ್ದ, 2 ಸೆಂ. ಮೀ. ವ್ಯಾಸವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದು. ಎಡಗಡೆ ತೋರಿಸಿರುವ H ಎಂಬ ಹೊರಭಾಗವನ್ನು



ಚಿತ್ರ 6.7 ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆ - ಪ್ರಯೋಗ
a) ರಾಮನ್ ಉಪಕರಣ, b) ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳು

ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಕಪ್ಪು ಮಾಡುವುದರ ಮೂಲಕ ಆ ಕಡೆಯಿಂದ ಒಳಗೆ ಯಾವ ಬೆಳಕೂ ಬೀಳದಂತೆ ತಡೆಗಟ್ಟಿರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಎದುರುಗಡೆಯಿರುವ ಮುಖವನ್ನು ಸಮತಲ ಗಾಜಿನ ಫಲಕದಿಂದ (G) ಮುಚ್ಚಿದ್ದು, ಹೊರಗಡೆ X ಎಂಬ ದ್ವಾರ ದಿಂದ ಚದರಿದ ಬೆಳಕು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ನೇರವು ಮೂಲ ಬೆಳಕು ದ್ರವದ ಮೇಲೆ ಬೀಳುವ ದಿಕ್ಕಿಗೆ (90°) ಲಂಬವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ನಾಳಿಕೆಯ ಹೊರಗಡೆ R_1R^1 ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ದರ್ಪಣಗಳು ಬೆಳಕನ್ನು ಪ್ರತಿಫಲಿಸಿ, ಒಳಗಡೆ ಪ್ರಕಾಶವನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸುತ್ತವೆ. ದ್ರವದ ಶಾಖವನ್ನು ಏರದಂತೆ ಒಂದು ಸಮ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಡಲೂ, W ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಪ್ರವಹಿಸುವ ತಣ್ಣೀರಿನ ಆವರಣವು ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಇನ್ನು, ದ್ರವದಿಂದ ಲಂಬ ನೇರದಲ್ಲಿ ಚದರಿದ ಬೆಳಕು ಹೊರಗಣ ಕಿಟಕಿಯ (X) ಮೂಲಕವೂ, S_1, S_2 ಎಂಬ ಎರಡು ಕಂಡಿ (slits) ಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು, P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ವರ್ಣಪಟಲಮಾಪಕದ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ವಿಶ್ಲೇಷಣಹೊಂದಿದ ಬೆಳಕಿನ ಚಿತ್ರವು ಛಾಯಾ ತಟ್ಟೆಯಮೇಲೆ ಗುರುತಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ.

ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವ ದೃಶ್ಯವನ್ನು ಚಿತ್ರ 6·7 (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಮೂಲಬೆಳಕಿನ ರೇಖೆ (ν) ಯು ಪ್ರಕಾಶಮಾನವಾಗಿ ಇದ್ದು ಅದರ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದೇ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸದ ಅಂತರದಲ್ಲಿ ಕಡಮೆ ಪ್ರಕಾಶದ ರೇಖೆಗಳು ಕಾಣುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೇ R_1, R_2 ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳು. ಕಡಮೆ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ ($\nu-d\nu$) ಯ R_1 ರೇಖೆಯನ್ನು ಸ್ಟೋಕ್ (stoke line) ರೇಖೆಯೆಂದೂ, R_2 ರೇಖೆ ($\nu+d\nu$) ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪ್ರತಿ ಸ್ಟೋಕ್ ರೇಖೆ (anti-stoke line) ಎಂದೂ ಕರೆಯುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ. ಸ್ಟೋಕ್ ರೇಖೆಗೆ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಕಾರಣವನ್ನು ಊಹಿಸಬಹುದಾದರೂ, ($\nu+d\nu$) ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪ್ರತಿಸ್ಟೋಕ್ ರೇಖೆಯನ್ನು ಮೊತ್ತಮೊದಲು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕವಾಗಿ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದ್ದುದು ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವಾಗಿದೆ.

ಬೆಳಕಿನ ಚದುರುವಿಕೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ರ್‍ಯಾಲೆ ಮಾದರಿಯ (Rayleigh) ಚದರುವಿಕೆಯೂ, ಪ್ರದೀಪ್ತತೆ (fluorescence) ಯ ಸಂಭವವೂ, ಹಿಂದೆಯೇ ಗೊತ್ತಾಗಿದ್ದವು. ಆದರೆ ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯೂ ಇವುಗಳಿಂದ ಭಿನ್ನವಾದುದು. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಲಕ್ಷಣಗಳೇನೆಂದರೆ : ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಮೂಲ ಬೆಳಕಿನ ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು ದ್ರವದ ಅಣುವಿನೊಂದಿಗೆ ನೇರವಾಗಿ ಸಂಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಶಕ್ತಿವಿನಿಮಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಕಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಬದ್ಧವಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ಈ ಶಕ್ತಿ ವಿನಿಮಯದಲ್ಲಿ ಮೂರು ಮಾದರಿಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಮೊದಲನೆಯದರಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು ಯಾವ ಶಕ್ತಿಭೇದವನ್ನೂ ಹೊಂದುವುದಿಲ್ಲ. ಅಂದರೆ, ಚದರಿದ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ ಇದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರಕಾಶ ರೇಖೆಯಾಗಿ ಮೂಲ ಬೆಳಕಿನ ರೇಖೆಯ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ (ν) ಯೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಇನ್ನು ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಫೋಟಾನ್ ಕಣದ ಸ್ವಲ್ಪಭಾಗದ ಶಕ್ತಿಯು ಚದರಿಸುವ ಅಣು ಅಥವಾ ಪರಮಾಣುವಿನ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸ್ಥಿತಿಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು W_1 ಇಂದ W_2 ಗೆ ಬದಲಾಯಿಸಬಹುದು. ಈ ವಿನಿಮಯದಿಂದ ಮೂಲ ಫೋಟಾನ್ ಕಣದ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ν^1 ಆಗಿ ಬದಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ರಾಮನ್ ರೇಖೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಶಕ್ತಿ ನಿಯತತ್ವ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ

$$h\nu^1 + w_2 = h\nu + w_1$$

$$\nu^1 = \nu + \frac{w_1 - w_2}{h} \qquad \ldots \quad 6{\cdot}38$$

$w_1 < w_2$ ಆದರೆ, $\nu^1 < \nu$. ಅಂದರೆ ಇದೇ ಸ್ಟೋಕ್ ರೇಖೆ.

$w_1 > w_2$ ಆದರೆ, $\nu^1 > \nu$ ಆಗಿ ಇದೇ ಪ್ರತಿ ಸ್ಟೋಕ್‌ರೇಖೆಯಾಗಬಹುದು. ಅಣುವಿನ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು ವಿವಿಧ ಮಟ್ಟಗಳ ಸಾಧ್ಯತೆಗಳು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಬೇಕು. ಅಂದರೆ,

$$w_1 - w_2 = nh\nu_m \qquad n = 1, 2, 3, \ldots \qquad \ldots\ 6.39$$

$\nu_m =$ ಅಣುವಿನ ಲಾಕ್ಷಣಿಕ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ (characteristic frequency) ಇದು ಅಣುವಿನಿಂದ ಗ್ರಹಣವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗೂ, ಉತ್ಸರ್ಜನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕು.

$n = 1$ ಆದಾಗ,

$$w_1 - w_2 = h\nu_m,$$

ಇದನ್ನು ಹಿಂದಿನ ಸಮೀಕರಣದೊಂದಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ,

$$\nu^1 = \nu \pm \nu_m \qquad \ldots\ 6.40$$

ಅಂದರೆ $(\nu^1 - \nu) = d\nu$ ಆದರೆ, $d\nu = \pm \nu_m$ ಎಂದಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ, ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳು ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದೇ ಅಂತರದಲ್ಲಿ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿದ್ದು, ಆ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ν_mಗೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು.

ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಫಲಿತಾಂಶಗಳೆಲ್ಲವೂ ಈ ನಿಯಮವನ್ನು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ಸಮರ್ಥಿಸಿವೆ.

ಬೆನ್‌ಜೀನ್ - ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸ $d\nu = 3.27\ \mu$. ಈ ದ್ರವದ ಗ್ರಹಣ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿ (absorption spectrum) ಯೂ ಇದೇ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಿಯ ತಂಡ (band) ವಿರುತ್ತದೆ.

ಕಾರ್ಬನ್ ಟೆಟ್ರಕ್ಲೋರೈಡ್

4358 A^0 ಮೂಲರೇಖೆಯ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಮೂರು ಮೂರು ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳು ಕಾಣುತ್ತವೆ.

ಪ್ರತಿ ಸ್ಟೋಕ್ ರೇಖೆಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ $d\nu = +\nu_m$ ಆಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಮೂಲ ಫೋಟಾನ್ ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು, ದ್ರವದ ಅಣುವು ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯಿಂದ ಸ್ವಾಸ್ಥ್ಯಸ್ಥಿತಿಗೆ ಬರುವಾಗ ವಿಸರ್ಜಿಸುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿ ವೃದ್ಧಿಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಹಿಂದೆ ತಿಳಿದಿದ್ದ ಪ್ರದೀಪ್ತತೆಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವಾಗಲೂ, ಪ್ರದೀಪ್ತ ರೇಖೆಯ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಮೂಲ ಬೆಳಕಿನ ಕಂಪನ

ಸಂಖ್ಯೆಗಿಂತ ಕಡಿಮೆಯಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಆ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಮೂಲ ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗಾಂತರವನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ರಾಮನ್ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ, ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗೂ, ಮೂಲರೇಖೆಗೂ ಇರುವ ಕಂಪನ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿಗೂ, ಮೂಲರೇಖೆಯ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಯಾವ ಸಂಬಂಧವೂ ಇಲ್ಲ. ಆ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು ಚದರಿಸುವ ದ್ರವದ ಅಣುರಚನೆಯನ್ನು ಮಾತ್ರ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ.

X–ಕಿರಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೂ, ಬೆಳಕಿನ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಗೂ ಸ್ವಲ್ಪ ಸಾಮ್ಯವನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. ಆದರೆ, ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ $\nu^1 < \nu$ $(\lambda^1 > \lambda)$; ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ $\nu^1 > \nu$ ಕೂಡ ಇರಬಹುದು.

ರಾಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ತನ್ನ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದ ನಂತರ, ಅದನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸುವಂತೆ ನೂರಾರು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು, ಅದರ ಮಹತ್ವವನ್ನು ಸಾರಿದುವು. ಇದಕ್ಕೆ ಮುಖ್ಯವಾಗಿ ಪ್ರಾಶಸ್ತ್ಯವು ದೊರೆಕಿದ್ದುದು ಅದರ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಅನ್ವಯದಿಂದ. ಅಂದರೆ, ಚದರಿಸುವ ವಸ್ತುವಿನ ಸ್ವರೂಪವು ಘನ, ದ್ರವ ಮತ್ತು ಅನಿಲಗಳೆಂಬ ಯಾವ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದರೂ, ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದ ವಿಶೇಷ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಬಹುದು. ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೂ ಮೂಲ ರೇಖೆಗಳ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೂ, ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳು ಚದರಿಸುವ ವಸ್ತುವಿನ ಅಣುವಿನ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಸ್ಥಿತಿಗಳಿಗೂ ನೇರವಾದ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ಇದರಿಂದ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ ಅಪಾರವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಟ್ಟಂತಾಯಿತು.

ವುಡ್, ರ್‍ಯಾಸಟ್ಟಿ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು Hcl, Co, Co_2 – ಮುಂತಾದ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ ಫಲಿತಾಂಶಗಳನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದರು. ಜಲಜನಕ, ಆಮ್ಲಜನಕಗಳು, ಸಮಾನಾಂತರದ ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆ. ಘನವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚುವ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಸಫಲವಾಗಿವೆ. ಮಾಂಡಲ್ ಸ್ಟ್ಯಾಮ್, ಮೆನ್‌ಜೀಸ್, ಭಗವಂತಂ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದ್ದಾರೆ.

ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದ್ದಲ್ಲಿ, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಪರಿವರ್ತನ ನಿಯಮಗಳಿಗೂ, ಗ್ರಹಣ ವರ್ಣಪಟಲದಲ್ಲಿರುವ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ನಿಯಮಗಳಿಗೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

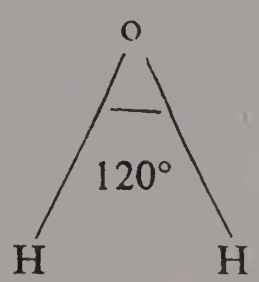
ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ, ಪರಿವರ್ತನೆಯ ನಿಯಮವು $\triangle J = 0$ ಅಥವಾ $\triangle J = \pm 2$–ಇವುಗಳು ಸುತ್ತು ರೇಖೆಗಳ ವರ್ಣಪಟಲ (rotation lines) ಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತವೆ.

ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳ ಮತ್ತೊಂದು ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವೇನೆಂದರೆ ಅವುಗಳು ಧ್ರುವೀಕೃತ (polarised) ರೇಖೆಗಳಾಗಿವೆ.

ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಪ್ರಭಾವ

ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಮಹತ್ವವು ಅದು ಅಣುಗಳ ರಚನೆಗಳ ಅಧ್ಯಯನದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ.

ಅಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳ ಚಲನೆಯ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅರಿಯಲು ಬಹಳ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿದೆ. ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವಣ ಬಂಧನ ಬಲಗಳ ಪ್ರಮಾಣ, ಸ್ವರೂಪಗಳ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಅರಿಯಲು ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಎರಡಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅಣುವಿನ ವಿಷಯವು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದುದು. ನೀರಿನ ಅಣುವಿನ ರಚನೆಯು ಈ ರೀತಿಯಲ್ಲಿರುವುದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿದೆ.



ರಾಮನ್ ಪಟಲದಲ್ಲಿ 1665 ಮತ್ತು 3605 ಸೆಂ. ಮೀ.$^{-1}$ ಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ರೇಖೆಗಳು ದ್ರವದ ರಕ್ತಾತೀತ (infra-red) ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿವೆ. ದ್ರವದ ಸ್ಥಿತಿಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿಯೂ, ಅಣುಗಳ ಚಲನಗಳಿಗೂ ದ್ರವದ ಉಷ್ಣಸ್ಥಿತಿಗೂ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳು ಗೋಚರವಾಗುತ್ತವೆ. ಸ್ಫಟಿಕ ವಸ್ತುಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿಯೂ (crystals) X-ಕಿರಣಗಳ ಅಧ್ಯಯನಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಬೆಳಕನ್ನು ಚೆಲ್ಲಲು ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯು ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿದೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ ಇದರ ಉಪಯುಕ್ತತೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ನಡೆದಿವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಹಲವಾರು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿ ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯು ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಮಾರ್ಗದರ್ಶಕವಾಗಿದೆ.

ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿಯೂ, ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಹಲವಾರು ಉಪಯುಕ್ತ ಮಾರ್ಗಗಳು ಗೊತ್ತಾಗಿವೆ. ಸಾವಯವ, ನಿರವಯವ ಮತ್ತು ಭೌತ ರಾಸಾಯನಿಕ ಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇದರ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. ರಾಸಾಯನಿಕ

ಸಂಯೋಗ ಸಾಮರ್ಥ್ಯದ ಬಂಧನ (valency bonds) ಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಅರಿಯಲು ಇದೊಂದು ಮಹತ್ತರ ಸಾಧನವಾಗಿದೆ. ಸಹಸಂಯೋಗ ಬಂಧನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅಣುಗಳಲ್ಲಿ ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳ ಪ್ರಕಾಶ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ, ವಿದ್ಯುತ್ ಬಂಧನಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವಾಗ, ರೇಖೆಗಳು ದುರ್ಬಲವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಸಾವಯುವ ಶಾಖೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ವಿವಿಧ ಬಂಧನಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೂ, ರಾಮನ್ ರೇಖೆಗಳಿಗೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿವೆ.

ಸ್ಫಟಿಕದಿಂದ ಚೂರ್ಣಸ್ಥಿತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆ (electrolytic dissociation) ಮತ್ತು ಜಲೀಕರಣ (hydrolysis) ಮುಂತಾದ ವಿಧಾನಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಷಯಗಳಿಗೂ ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯು ಸಹಾಯಕವಾಗಿದೆ.

ಈ ಸ್ಥೂಲ ವಿಮರ್ಶೆಯಿಂದ ರಾಮನ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ಅನ್ವಯವು ವ್ಯಕ್ತವಾಗಿ ಅದರಿಂದ ಭೌತ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಜ್ಞಾನಗಳ ಹಲವಾರು ಶಾಖೆಗಳಲ್ಲಿ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವು ಕಲ್ಪಿತವಾಗಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಮಹತ್ವವನ್ನು ಅರಿತಿದ್ದರಿಂದಲೇ, ರಾಮನ್ ಅವರಿಗೆ 1930 ರಲ್ಲಿಯೇ ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕವು ಲಭಿಸಿದುದು ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ ಇದೆ. ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಡಾ॥ ಖೋರಾನ ಅವರಿಗೆ ದೊರೆತಿರುವ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವನ್ನು ಬಿಟ್ಟರೆ, ಇದುವರೆವಿಗೂ, ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಪಾರಿತೋಷಕವನ್ನು ಗಳಿಸಿದ ಸಿ. ವಿ. ರಾಮನ್‌ರವರು, ಏಕೈಕ ಭಾರತೀಯು ನೋಬೆಲ್ ವಿಜೇತರಾಗಿದ್ದಾರೆ ಎಂಬುದು ನಮಗೆ ಹೆಮ್ಮೆಯ ವಿಷಯವಾಗಿದೆ.

7. ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರ

7.1 ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿ ತರಂಗಣ–ಕದ್ವಂದ್ವತ್ವ (Wave particle duality in the nature of light).

ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನವು ಬೆಳಕಿನ ತರಂಗ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಎತ್ತಿ ಹಿಡಿದಿದ್ದರೆ, ಇಪ್ಪತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದ ಆದಿಭಾಗವು ಬೆಳಕಿನ ಕಣಸ್ವರೂಪದ ಅವಶ್ಯಕತೆಯನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿತು. ಅಂದರೆ, ಬೆಳಕಿನ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ಈ ದ್ವಂದ್ವತ್ವವು ಇರಬೇಕೆಂದು ಅರ್ಥಬರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಕಣದ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ತರಂಗಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳು ವಿರೋಧವಾಗಿರುವಂತೆಯೇ ಕಾಣುತ್ತವೆ. ಮತ್ತೊಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಬೆಳಕು ತನ್ನ ತರಂಗ ರೂಪವನ್ನು ವ್ಯತಿಕರಣ ಮತ್ತು ನಮನ ಮತ್ತು ಧ್ರುವೀಕರಣ ಎಂಬ ಮೂರು ಮುಖ್ಯ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೇ ಪ್ರಧಾನವನ್ನಾಗಿ ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು ಕಣದತತ್ತ್ವದಿಂದ ಸಾಧ್ಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಹಾಗೆಯೇ, ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿಯೂ, ಬೆಳಕು ಶಕ್ತಿಕಣ ಅಥವಾ ಫೋಟಾನ್ ಎಂಬ ಕಣದ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೇ ವರ್ತಿಸುವುದು. ಇದರಲ್ಲಿ ತರಂಗ ಸ್ವರೂಪವು ಅನ್ವಯವಾಗುವಂತಿಲ್ಲ. ಹೀಗಾಗಿ, ಬೆಳಕು ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಅಲೆಯಂತೆಯೂ ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಕಣದಂತೆಯೂ ವರ್ತಿಸಿ, ಯಾವುದೇ ಒಂದು ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಎರಡು ರೂಪಗಳನ್ನೂ ಪ್ರದರ್ಶಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಹಾಗಾದರೆ ಅದರ ನಿಜ ಸ್ವರೂಪವು ಏನು? ಕಣ ಮತ್ತು ಅಲೆ ಎಂಬ ಎರಡು ಮುಖಗಳ ಹಿಂದೆ ಯಾವ ನಿಜ ಸ್ವರೂಪವಿರಬಹುದು ಎಂಬುದು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ತೊಡಕಿನ ಸಮಸ್ಯೆಯಾಗಿ ಉಳಿಯಿತು.

ಈಗಾಗಲೇ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ನಿರೂಪಣೆಯನ್ನೂ ಅದರ ವಿಶಾಲ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನೂ ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಮರ್ಥನೆಗೆ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಎತ್ತಿ ಹಿಡಿದನು. ಇದಕ್ಕೆ ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಪ್ರಯೋಗಗಳೂ ಸಹಾಯಕವಾದುವು. ಇದರಿಂದ ಬೆಳಕನ್ನು ಫೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಒಂದು ಸಮೂಹವೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕಾಯಿತು. ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಭೋರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ಜಲಜನಕ ಮತ್ತು ಇತರ ವಸ್ತುಗಳ ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಹೊಸ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದನು. ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ

ಹೊರಗಣ ಕವಚದಲ್ಲಿರುವ ಮುಕ್ತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು (free valency electron) ಒಂದು ಅಧಿಕ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟದಿಂದ ಕಡಿಮೆ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಧುಮುಕುವಾಗ, ಈ ಶಕ್ತಿಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಒಂದು ಫೋಟಾನ್ ಕಣವು ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಅನುರೂಪವಾದ ಒಂದು ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆ (spectral line) ಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಬೆಳಕಿನ ಫೋಟಾನ್ ರೂಪಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಮಾಡಿದಂತಾಯಿತು. K,L .. ಕವಚಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಸ್ಥಾನಭೇದಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ X-ಕಿರಣಗಳ ವರ್ಣಪಟಲ ರೇಖೆಗಳಿಗೂ ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ವಿಸ್ತರಿಸಲಾಯಿತು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಈ ತತ್ತ್ವಗಳ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಜೋಡಣೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಒಂದು ಸದಿಶ – ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿಯೇ (vector atom model) ರಚಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರವೂ ಇದಕ್ಕೆ ಬಹುಮಟ್ಟಿಗೆ ದೊರಕಿತು.

ಸ್ವಲ್ಪಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಈ ಸದಿಶ–ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿಯೂ ಅಷ್ಟಾಗಿ ಸಮರ್ಪಕವಾಗಿ ಕಂಡುಬರಲಿಲ್ಲ. ಅದರ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ನ್ಯೂನತೆಗಳನ್ನು ಹೀಗೆ ಗುರುತಿಸಬಹುದು. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ದೋಷವೇನೆಂದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ವಿವಿಧ ಸೂತ್ರಗಳನ್ನೂ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸತಕ್ಕ ಒಂದು ಮೂಲ ತತ್ತ್ವದ ನಿರೂಪಣೆಯು ಕಂಡುಬರುವುದಿಲ್ಲ. ಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆಯನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ ಒಂದು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟದಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯ ವಿಧಾನವು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿಲ್ಲ. ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು ಮಾಡಲಾದ ಒಂದು ತಾತ್ಕಾಲಿಕ (ad hoc) ಭಾವನೆಯಾಗಿದೆಯೇ ಹೊರತು ಯಾವ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಆಧಾರವೂ ಇಲ್ಲ. ಹಾಗೆಯೇ $\Delta L = \pm 1$, $\Delta j = \pm 1$ ಅಥವಾ O ಎಂಬ ಸೂತ್ರಗಳೂ ಕೂಡ ಸಮಯ ಸಾಧಕ (empirical) ಗಳಾಗಿಯೇ ಉಳಿಯುತ್ತವೆ ಮೂರು ಪರಿಮಾಣಗಳ (spatial) ಕ್ವಾಂಟೀಕರಣದ ಸೂತ್ರಗಳಿಗೂ ದೃಢವಾದ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಆಧಾರಗಳು ಇಲ್ಲ. ಇದೂ ಒಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯಾಗಿಯೇ ಪರಿಣಮಿಸಿತು.

ಮೊದಲಿನ ಕಾಲು ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಅಪಾರವಾದ ಪ್ರಮುಖ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಡೆದು ನಮ್ಮ ಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಬಹುಮಟ್ಟಿಗೆ ವೃದ್ಧಿಯಾಗಿದ್ದರೂ, ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ಪ್ರಮುಖ ಪ್ರಶ್ನೆಗಳಿಗೆ ಸರಿಯಾದ ಉತ್ತರಗಳು ದೊರಕುವವರೆಗೂ ಸಮಾಧಾನ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯು ಬರುವಂತಿಲ್ಲ. ಆದರೆ 1924-25ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಆಶಾಕಿರಣವು ಕಂಡುಬಂದು ಸಮಸ್ಯೆಗಳ ಪರಿಹಾರಕ್ಕೆ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನ ಬಂದಿತು. ಡಿ.ಬ್ರೋಲಿಯು 1924ರಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟಿಸಿದ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವವೇ ಇದಕ್ಕೆ ಮುಖ್ಯ ಕಾರಣವಾಯಿತು.

ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿಯ ಕ್ರಾಂತಿಕಾರಕ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಶಕ್ತಿವಿಕಿರಣದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬರುವ ತರಂಗ-ಕಣದ್ವಂದ್ವತ್ವವು ದ್ರವ್ಯಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕು. ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳೆಂಬ ಎರಡು ಪ್ರಧಾನ ವ್ಯಕ್ತಿಗಳ (entities) ಗಳ ಸ್ವರೂಪದಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಸಮತಾಭಾವವು ಇರಬೇಕಾದುದು ಸಹಜವಾದ ಕಲ್ಪನೆಯಾಗಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ನಾವು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ 'ದ್ರವ್ಯ' ಎಂದರೆ ಕಣ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಆರೋಪಿಸುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ. ಆದರೆ, ಈ ದ್ರವ್ಯಕ್ಕೂ ಕೂಡ ತರಂಗಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಏಕೆ ಅನ್ವಯುವಾಗಬಾರದು ? ದ್ರವ್ಯಕ್ಕೆ ಹೊಂದಿಕೊಂಡಿರುವಂತೆ ಒಂದು ತರಂಗಗಳ ಗುಂಪು (packet of waves, associated with matter) ಅನ್ವಯುವಾದರೆ, ಆ ತರಂಗಗಳ ತರಂಗಾಂತರದ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಒಂದು ಸೂತ್ರವನ್ನು ಕೂಡ ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸೂಚಿಸಿದನು. ಇದರಿಂದ ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಅಧ್ಯಾಯವೇ ತೆರೆಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಈ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ಅತಿ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರಾಡಿಂಗರ್, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಂದ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯೂ, ಡೇವಿಸನ್, ಗರ್ಮರ್ ಮೊದಲಾದವರ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಮರ್ಥನೆಯೂ ದೊರಕಿದುವು. ಕೇವಲ 5 ವರ್ಷಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ (1925-30) ಈ ವಿಷಯುವಾಗಿ ಅಪಾರವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು. ಇವುಗಳಿಗೆ "ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತ" ಅಥವಾ "ತರಂಗ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ" (wave-mechanics) ಎಂಬ ಹೊಸ ಶಾಖೆಯು ನಿರ್ಮಿತವಾಯಿತು. ಇದರ ಪ್ರಮುಖ ಸಾಧನೆಯೇನೆಂದರೆ, ತರಂಗ-ಕಣಗಳೆಂಬ ಎರಡು ಭಾವನೆಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದ ಒಂದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿ, ಅದನ್ನು ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಗಳ ಸ್ವರೂಪಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಲಾಯಿತು. ಹಿಂದಿನ ತತ್ತ್ವಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದಿದ್ದ ಹಲವಾರು ಅಸಹಜತೆಯ ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಸಮರ್ಪಕವಾದ ಪರಿಹಾರವು ದೊರಕಿದಂತಾಯಿತು. ಇವುಗಳನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ವಿಶದ ಪಡಿಸುವುದು ಅಗತ್ಯವಾಗಿದೆ.

7.2 ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣ

1924ರಲ್ಲಿ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ತನ್ನ ಐತಿಹಾಸಿಕ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದನು. ಇದರ ರೂಪವು ಹೀಗಿದೆ.

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad \ldots \quad 7{\cdot}1$$

ಇದರಲ್ಲಿ m ಎಂಬ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (mass) ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಕಣವು v ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವಾಗ, ಅದರೊಂದಿಗೆ ಸಂಯೋಗವಾಗುವ (associated) ಅಲೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರವು $\lambda \cdot h$ = ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನಿಯತಾಂಕ–ಈ ಸೂತ್ರವು ಸರ್ವ ವ್ಯಾಪಕವಾದುದು. ಇದನ್ನು ಫೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ತನ್ನ

ಪ್ರಥಮ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಪ್ರಚುರ ಪಡಿಸಿದನು. ನಂತರ, ಅದನ್ನು ಯಾವುದೇ ರೂಪದ ದ್ರವ್ಯಕಣಕ್ಕೂ ಇದನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ಸಾಪೇಕ್ಷ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೂ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನೂ ಅನುಸರಿಸಿ, ವಿಸ್ತರಿಸಿದನು. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣ, ಪರಮಾಣು, ಅಣು ಮುಂತಾದ ಎಲ್ಲ ವಿಧವಾದ ದ್ರವ್ಯಕಣಗಳಿಗೂ ಈ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವೇಗವು (v) ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವನ್ನು (c) ಸಮೀಪಿಸುವಾಗ, $m = \dfrac{m_o}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$ ಎಂಬ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾಗುವುದು.

ಇದನ್ನು ಕೆಲವು ಉದಾಹರಣೆಗಳಿಂದ ಸ್ಪಷ್ಟಪಡಿಸಬಹುದು. ಫೋಟಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಇದನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಅದರ ವೇಗ $= c$ ಮತ್ತು ಅದರ ಶಕ್ತಿ $E = h\nu$: ಮತ್ತು ಅದರ ಆವೇಗ $= p$ (momentum) $= \dfrac{h\nu}{c}$ ಇದು ಸಾಪೇಕ್ಷಕ ಸಿದ್ಧಾಂತದಿಂದ

$$p = \frac{h\nu}{c} \qquad \ldots \quad 7.2$$

ಆದರೆ, $c = \lambda\nu$ .. 7.3

$$\therefore \quad p = \frac{h\nu}{\lambda\nu} = \frac{h}{\lambda} \qquad \ldots \quad 7.4$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{h}{p} \qquad \ldots \quad 7.5$$

ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣದ ರೂಪವೂ ಇದೇ $\lambda = \dfrac{h}{mv} = \dfrac{h}{p}$

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್-ಕಣ. ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ರೂಪದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೂ, ಈ ಸೂತ್ರವನ್ನು ಸರಿಹೊಂದಿಸಬಹುದು.

$e =$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶ

$m =$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ

$v =$ ಅದರ ವೇಗ

ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಕಿರಣಗಳ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಿಸುವ ವೋಲ್ಟೇಜ್ **V** ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಾದರೆ, e–s ಮಾನಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ,

$$\frac{eV}{300} = \frac{1}{2} mv^2 \qquad \ldots \quad 7.6$$

$$\frac{meV}{300} = \frac{1}{2} m^2v^2$$

$$\therefore m^2v^2 = \frac{meV}{150}$$

$$mv = \sqrt{\frac{meV}{150}}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = h\sqrt{\frac{150}{meV}} \qquad \ldots \quad 7.7$$

$\lambda =$ ಸಮಾನ ತರಂಗಾಂತರ.

v (ವೇಗವು) ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದು v/c ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದರೆ,

$m = 9 \times 10^{-28}$ ಗ್ರಾಂ ; $e = 4.8 \times 10^{-10}$ e.s.u

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{V}} \cdot 10^{-8} \text{ ಸೆಂ. ಮೀ.} = \sqrt{\frac{150}{V}} \text{. ಆಂಗ್‌ಸ್ಟ್ರಾಂ ಮಾನ} \qquad \ldots \quad 7.8$$

ಈ ಸರಳ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ, ಉತ್ಪಾದನೆಯ ವೋಲ್ಟೇಜ್ v (ವೋಲ್ಟ್) ಗಳಿಗೂ, ಅದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಮಾನವಾದ ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೂ ನೇರ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು.

V = 1 ವೋಲ್ಟ್ ;	$\lambda = 12{\cdot}3$ A°
V = 150 ವೋಲ್ಟ್ ;	$\lambda = 1$ A°
V = 15,000 ವೋಲ್ಟ್	$\lambda = 0{\cdot}1$ A°

ಇತ್ಯಾದಿ

1 A°, 0·1 A° ತರಂಗಾಂತರಗಳು X–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಮರ್ಥನೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

ವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದರೆ, ಈ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದೇ ಎಂದರೆ, ಅದಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸಿ ಅದರ ಅರ್ಥವನ್ನು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಬಹುದು. 0.1 Kg ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಒಂದು ಚೆಂಡನ್ನು 10 ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್ ವೇಗದಿಂದ ಎಸೆದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾಗುವ ಅಲೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರವು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6{\cdot}62 \times 10^{-34} \text{ ಜೂಲ್/ಸೆಕೆಂಡ್}}{0{\cdot}1\ (Kg) \times 10 \text{ ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್}} \quad \text{(M.K.S. ಮಾನಪದ್ಧತಿ)}$$

$$= 6{\cdot}62 \times 10^{-34} \text{ ಮೀಟರ್}$$

$$= 6{\cdot}62 \times 10^{-24}\ A^{\circ}$$

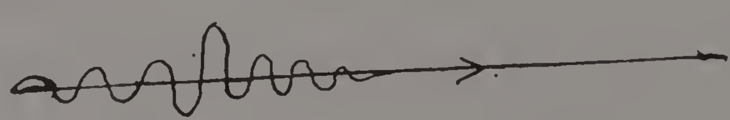
ಇದು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ತರಂಗಾಂತರ ಅಂದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಗಾತ್ರಕ್ಕಿಂತ ಸುಮಾರು 10^{-23} ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿದ್ದು, ಅಷ್ಟು ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರದ ಅಲೆಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸುವಂತಿಲ್ಲ.

ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, ಚಲಿಸುವ ವಸ್ತುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಹೆಚ್ಚಿದಷ್ಟೂ ತರಂಗಾಂತರದ ಪ್ರಮಾಣವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿದ್ದು ಗಮನಾರ್ಹವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಇದರಿಂದಲೇ ನಾವು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ತರಂಗ ರೂಪವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೂ, ಇದರ ಅರ್ಥವು ಡಿ. ಬ್ರೋಲೀ ಸಮೀಕರಣದಿಂದಲೇ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ದ್ರವ್ಯಕ್ಕೆ ತರಂಗರೂಪದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಿದಂತಾಯಿತು. ಮೇಲಿನ ಸೂತ್ರದಿಂದ ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ಪರಿಣಾಮವೂ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುವುದು.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

ಇಲ್ಲಿ ಎಡಭಾಗದ λ= ತರಂಗಾಂತರ. ಇದು ಕೇವಲ ತರಂಗದ ಭಾವನೆಯಾಯಿತು. ಬಲಗಡೆ p= ಆವೇಗ – ಇದು 'ದ್ರವ್ಯ'ಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಪ್ರಮಾಣವಾಯಿತು. ಇವೆರಡನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವ ತತ್ತ್ವವನ್ನು = ಎಂಬ ಸಮತ್ವ ಚಿಹ್ನೆಯು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಸಮಗೊಳಿಸುವುದರ ಪಾತ್ರವು h ಅಥವ ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನಿಯತಾಂಕಕ್ಕೆ ಸೇರಿದ್ದು. ಅಂದರೆ, ತರಂಗ, ಕಣ ಎಂಬ ಎರಡು ಭಿನ್ನ ಭಾವನೆಗಳನ್ನು ಸಮನ್ವಯಗೊಳಿಸತಕ್ಕ ಪಾತ್ರವು ಕ್ವಾಂಟಂ ನಿಯತಾಂಕಕ್ಕೆ ಸೇರಿದೆ ಎಂದರೆ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಮಹತ್ವವು ಗೊತ್ತಾಗುವುದು.

ದ್ರವ್ಯಕಣಕ್ಕೆ ತರಂಗ ಮತ್ತು ತರಂಗಾಂತರ ಕಲ್ಪನೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾದ ಚಿತ್ರವು ಗ್ರಹಣಕ್ಕೆ ಅಷ್ಟು ಸುಲಭವಾದುದಲ್ಲ. ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಅಲೆಯ ರೂಪವನ್ನು ಚಿತ್ರಿಸುವ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 7.1 ದ್ರವ್ಯ – ಅಲೆಗಳು

ಒಂದು ದ್ರವ್ಯಕಣವು ಚಲನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವಾಗ, ಎರಡು ವಿಧವಾದ ವೇಗಗಳನ್ನು ಗಣನೆಗೆ ತಂದುಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಮೊದಲನೆಯದು ಕೇವಲ ಯಾಂತ್ರಿಕ ಚಲನೆ (mechanical motion) ಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ವೇಗ v- ಮತ್ತೊಂದು ಡಿ ಬ್ರೋಲಿ ತತ್ತ್ವದಪ್ರಕಾರ ಆ ಕಣದೊಂದಿಗೆ ಸಂಯೋಗವಾಗಿರುವ ಅಲೆಗಳ ವೇಗ U· ಇವುಗಳೆರಡರ ಸಂಬಂಧ ಸೂತ್ರವು ಹೀಗಿದೆ.

$$u = \frac{c^2}{v} \text{ [c = ಬೆಳಕಿನ ವೇಗ]} \qquad \ldots \quad 7.9$$

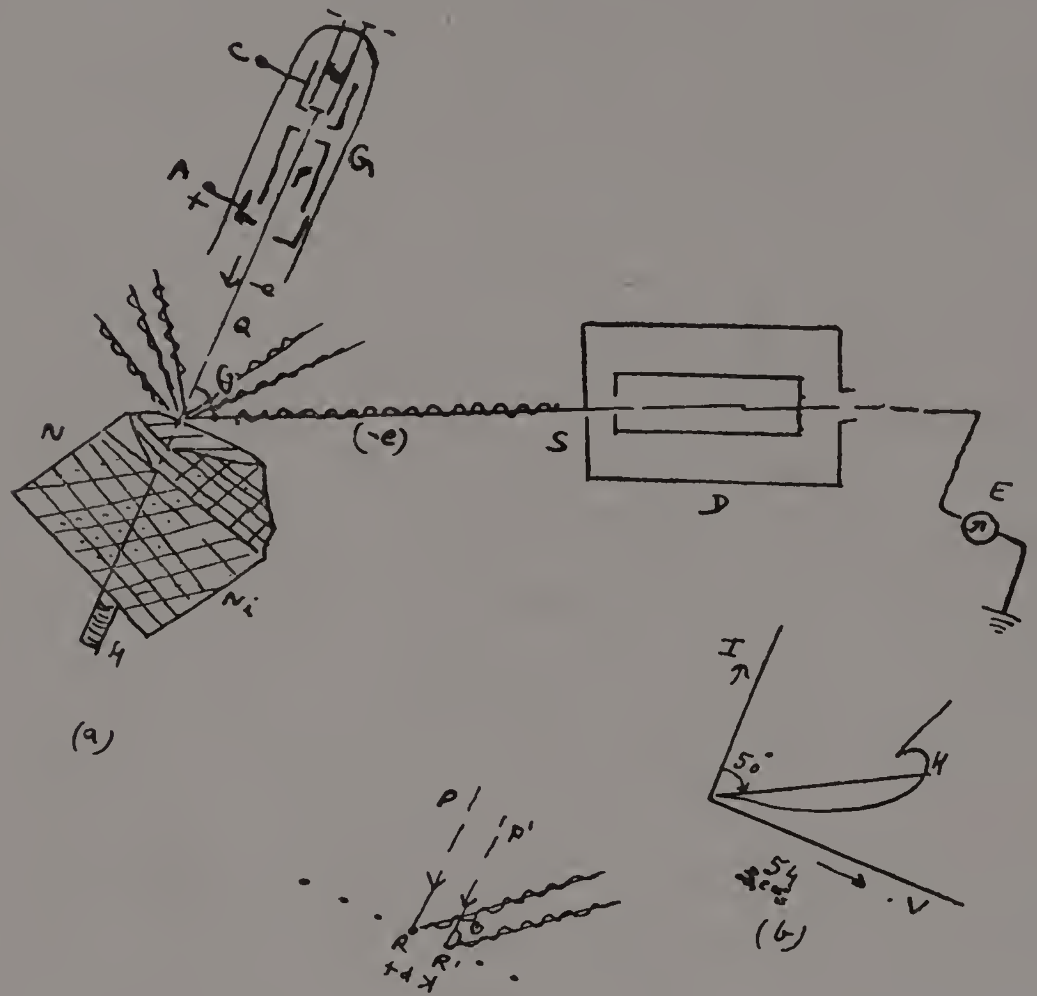
ಅಂದರೆ, ಕಣದೊಂದಿಗೆ ಸಂಯೋಜಿತ ಅಲೆಗಳನ್ನು ಅಲೆಗಳ ಸಮೂಹ (wave packet) ವೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಇದರಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಅಲೆಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ u= ಸಮೂಹವೇಗ ಎಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಇದು, ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಈಕಣದೊಂದಿಗೆ ಸಂಯೋಜಿತ ಅಲೆಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯ ಶಕ್ತಿವಿಕಿರಣ (radiation) ದ ಅಲೆಗಳಿಗಿಂತ ಭಿನ್ನವಾದುವು ಎಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ.

7.3 ಡೇವಿಸನ್–ಗರ್ಮರ್ ಪ್ರಯೋಗ

ಡಿ। ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಅತಿ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರಕಿತು. 1927ರಲ್ಲಿ ಡೇವಿಸನ್-ಗರ್ಮರ್ ಎಂಬ ಅಮೆರಿಕನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಅಲೆಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ವಕ್ರ ವಿಯೋಜನೆ ಅಥವಾ ನಮನಕ್ಕೆ (diffraction) ಒಳಗಾಗಬಲ್ಲುವು ಎಂಬುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿವರಗಳು ಹೀಗಿವೆ. ಒಂದು ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗಳನ್ನು ಒಂದು ಕಡುಗೆಂಪು ತಂತುವಿನಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದಿಂದ ವಿಸರ್ಜನೆಗೊಳಿಸಿ, ಆಕಣಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತಾದ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಕಣಗಳು ನಿರ್ದಿಷ್ಟವೇಗದಿಂದ ಒಂದು ಸೂಕ್ಷ್ಮರೇಖೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಿ, ನಿಕ್ಕಲ್ ಹರಳಿನ ಪ್ರತಿಫಲಕ ಮೇಲ್ಮೈಯಮೇಲೆ ಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಹರಳಿನ ಮೇಲೆ ಆಪಾತವಾಗುವ ಕಣಗಳು ಅಲೆಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಹರಳಿನ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ಕೆಲವು ಗೊತ್ತಾದ ಕೋನಗಳಲ್ಲಿ ನಮನವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಕೋನಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಒಂದು ಗ್ರಾಹಕ ಉಪಕರಣ (detector) ದಲ್ಲಿ ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ, ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್‌ಮಾಪಕ (electroscope) ದಿಂದ ಅಳೆಯಬಹುದು. ಬೆಳಕಿನ ಕಿರಣಗಳು ಅಲೆಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ಹರಳುಗಳಲ್ಲಿ ನಮನಹೊಂದುವಂತೆಯೇ, ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಮಾನ ರೂಪದ ತರಂಗಗಳ ತರಂಗಾಂತರ ವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಡಿ| ಬ್ರೋಲಿ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ತರಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 7.2 ಡೇವಿಸನ್–ಗರ್ಮರ್ ಉಪಕರಣ

ಉಪಕರಣದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರ (7.2) ರಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು. G ಎಂಬುದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತುಪಾಕಿ (electron gun). ಇದರ ಒಂದು ತುದಿಯಲ್ಲಿ F ಎಂಬ ಟಂಗ್‌ಸ್ಟನ್ ತಂತುವನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಮೂಲಕ ಕಾಯಿಸಿ ಅದು ಕಡುಗೆಂಪಾದಾಗ ಆದರ ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶ ವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಭಾಗವನ್ನು C ಎಂಬ ಕ್ಯಾಥೋಡ್ ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲಿಂದ ಈ ಕಣಗಳ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ರೇಖೆಯ ರೂಪಕ್ಕೆ ಸಂಕುಚಿಸಿ A ಎಂಬ (ಆನೋಡ್) ಧನಧ್ರುವದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. C-A ಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಪ್ರಮಾಣ (V) ವನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸು ವುದರ ಮೂಲಕ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ವೇಗವನ್ನೂ ಅದಕ್ಕೆ ಅನುರೂಪವಾದ ತರಂಗಾಂತರವನ್ನೂ ನಿರ್ದೇಶಿಸಬಹುದು.

ಹೀಗಾಗಿ, **PQ** ನೇರದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು N ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ನಿಕ್ಕಲ್ ಹರಳಿನ ಮೇಲ್ಮೈಯಮೇಲೆ ಲಂಬವಾಗಿ ಆಪಾತ (incident)

ವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಹರಳಿನಲ್ಲಿ ಸಾಲುಸಾಲಾಗಿ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ವಿನ್ಯಾಸದಲ್ಲಿಯೂ ವಿವಿಧ ಪರೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ನಿಕ್ಕಲ್ ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಅಂತರದಲ್ಲಿ ಜೋಡಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಅಂತರವನ್ನು ಕಂಡಿಯ ಅವಧಿ (grating space) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಈ ಹರಳನ್ನು ಯಾವ (ದಿಕ್) ಓರಣದಲ್ಲಿಯೂ ತಿರುಗಿಸಿ ನಮಗೆ ಬೇಕಾದ ಸಮತಲದ ಮೇಲೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಬೀಳುವಂತೆ ಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದು ಮೂರು ಪರಿಮಾಣದ ಜಾಲಕ (three-dimensional lattice) ಎಂದು ಗಣನೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಂದು ಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಜೋಡಣೆಯಾಗಿರುವ ಮೇಲ್ಮೈಯಿನಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ವಿವಿಧ ಕೋನಗಳಲ್ಲಿ ಚದರಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಅಥವಾ ಪ್ರತಿಫಲಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಕೋನ (Q) ದ ನೇರದಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಈ ಕಣಗಳನ್ನು (RS ನೇರದಲ್ಲಿ) D ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ಗ್ರಾಹಕ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿ (collecting cylinder) ಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿ ಅಲ್ಲಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳನ್ನು E ಎಂಬ ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕ ಉಪಕರಣದಿಂದ ಅಳೆಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಈ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯನ್ನೇ ಒಂದು ವರ್ತುಲ ಪಥದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 20° ನಿಂದ 90° ವರೆವಿಗೆ ಸುತ್ತಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಅಂದರೆ, ಇದನ್ನು ಹೀಗೆ ಸುತ್ತಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಆಯಾ ಕೋನಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಆವರಣಗಳಿದ್ದು ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಿ, ಅತಿ ವೇಗವಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊರಗೆ ಕಳುಹಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ಉಳಿದವುಗಳನ್ನು ತಡೆದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ G ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾದ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ವೋಲ್ಟೇಜ್ (V)ಗಳನ್ನು 30V – 600 V ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಬದಲಾಯಿಸಲಾಯಿತು. ಇಡೀ ಉಪಕರಣವನ್ನು ನಿರ್ವಾತವಾಗಿ ಇಡಲ್ಪಟ್ಟ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಲಾಗಿತ್ತು. N ಹರಳನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಅಳವಡಿಸಿ ಅದರ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸಮತಲದ ಮೇಲೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಆಪಾತ ಮಾಡಿಸಲಾಯಿತು. ನಂತರ, ಈ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಲಂಬವಾಗಿ ಬೀಳುವಂತೆಮಾಡಿ, ಅವುಗಳ ಉತ್ಕರ್ಷಕ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗಳನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಿ, ಹರಳಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಮಾರ್ಗದ ಕೋನ (θ) ವನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸುವಂತೆ ಆ ನೇರದಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಹಕ ಉಪಕರಣವನ್ನು ತಿರುಗಿಸಿ, ಅದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಅಳತೆ ಅಂಶಗಳನ್ನು E ಮೂಲಕ ಗುರುತಿಸಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಒಂದು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ನಿರೂಪಿಸಲಾಯಿತು. ಇದನ್ನು(b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಇವರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, V = 54 ವೋಲ್ಟ್

ಗಳೂ, $\theta = 50°$ ಆದಾಗ ಹೊರಬಿದ್ದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಸಮೂಹ (diffracted beam)ದ ತೀವ್ರತೆ (intensity) ಯು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದಿತು. ಅಂದರೆ I – V ರೇಖಾಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ H ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಗಂಟು (H) (Hump) ಬಹಳ ಉನ್ನತಮಟ್ಟದಲ್ಲಿದ್ದಿತು. ಅಂದರೆ V ಪ್ರಮಾಣಗಳು 44V, 48V, 60V, 68 V ಗಳಾಗಿದ್ದಾಗ ಈ ಗಂಟು (H) ಪ್ರಮುಖವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ. ಈ ಗಂಟು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದಲೇ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವರ್ತಿಸಿರಬೇಕೆಂಬುದಕ್ಕೆ ನಿಖರವಾದ ನಿದರ್ಶನವಾಯಿತು.

ಈ ಇಡೀ ಉಪಕರಣದ ರಚನೆಯನ್ನೂ ಅಳತೆಗಳ ಅಂಶಗಳನ್ನೂ X-ಕಿರಣ ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಬ್ರಾಗ್ ವರ್ಣಪಟಲಮಾಪಕ (Bragg Spectrometer) ದಲ್ಲಿ ಮಾಡುವ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಾಮ್ಯವು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಬ್ರಾಗ್ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿಯೂ X-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ಹರಳಿನಲ್ಲಿ ಜೋಡಿಸಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳಿಂದ ಪ್ರತಿ ಫಲನ ಮಾಡಿಸಿ, ವಿವಿಧ ಕೋನಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ತೀವ್ರತೆ (intensity) ಯನ್ನು ಅಳೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ. ಡೇವಿಸನ್ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ನಿಂದ ಉತ್ಕರ್ಷವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹದ ವರ್ತನೆಯನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆಮಾಡಲಾಗಿದೆ.

ಆದ್ದರಿಂದ ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, V ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಮಾನ ತರಂಗಾಂತರ (λ)

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{V}}\ A° \quad (7.8)$$

ಇಲ್ಲಿ $V = 54$ ಆದಾಗ $\lambda = \sqrt{\frac{150}{54}} = \sqrt{2 \cdot 8}\ A° = 1.66A°$

ಪ್ರಯೋಗದ ಅಳತೆಗಳ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿದರೆ

$\theta = 50°$. ನಿಕ್ಕಲ್ ಹರಳಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ಅಂತರ ದೂರ $= d = 2.15A°$. ಬ್ರಾಗ್ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ λ ಎಂಬುದು ಅಲೆಗಳ ತರಂಗಾಂತರವಾಗಿದ್ದು ಇವುಗಳ ನಮನದಿಂದ (diffraction)

$$n\lambda = d \sin \theta \qquad (\text{ಚಿತ್ರ } 7.2). \qquad \ldots \quad 7.10$$

ಮೊದಲನೆಯ ವರ್ಗದಲ್ಲಿ $n = 1$. $d = 2.15A°$

$$\therefore \quad \lambda = 2 \cdot 15 \sin 50° = 1.65A° \qquad \ldots \quad 7.11$$

ಇದು ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣದತರಂಗಾಂತರದ ಪ್ರಮಾಣವೇ ಆಗಿರುವುದರಿಂದ ಈ ಪ್ರಯೋಗವು ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆಯಾದಂತಾಯಿತು.

ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ, PQR ನೇರದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ V ವೋಲ್ಟ್ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ನಿಕ್ಕಲ್ ಹರಳಿನ ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಪ್ರತಿಫಲನ ಹೊಂದುವಾಗ λ ಎಂಬ ಡಿ| ಬ್ರೋಲಿ ತರಂಗಾಂತರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅಲೆಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೇ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನೇ ಚಿತ್ರ 7.2 (c) ಯಲ್ಲಿ ಅಲೆಯ ಆಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

7.4 ಜಿ. ಪಿ. ಥಾಂಸನ್ ಪ್ರಯೋಗ

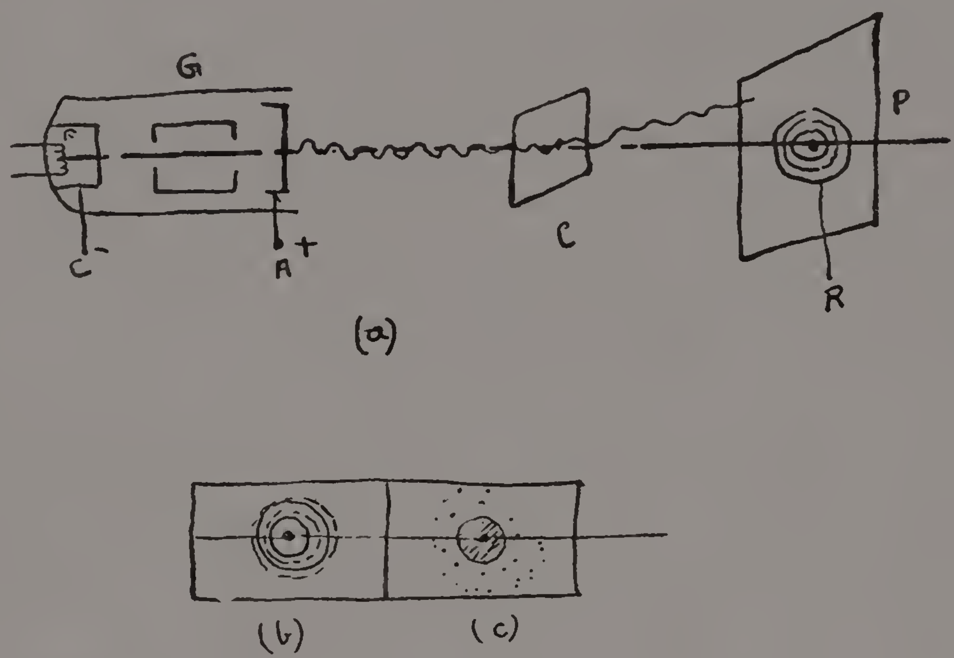
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಅತಿ ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವಾಗ ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವರ್ತಿಸಬೇಕೆಂಬ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ಮತ್ತಷ್ಟು ಸಮರ್ಪಕವಾದ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಕೊಡುವಂತೆ 1928 ರಲ್ಲಿ ಜಿ. ಪಿ. ಥಾಂಸನ್ ಎಂಬ ಇಂಗ್ಲಿಷ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯೂ, ಕಿಕೂಚಿ (Kikuchi) ಎಂಬ ಜಪಾನ್ ದೇಶದ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞನೂ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಮಾಡಿ ತೋರಿಸಿದರು.

ಥಾಂಸನ್ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಅತಿ ವೇಗವಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಅತಿ ತೆಳುವಾದ ಲೋಹದ ಪರೆ (metallic films) ಗಳಿಂದ ನಮನ ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಿದನು. ಅವನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ವೋಲ್ಟೇಜ್‌ಗಳು 10000–50,000 V ಗಳ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿದ್ದುವು. ಪರೆಗಳು ರಜತ, ಚಿನ್ನ, ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಲೋಹಗಳಾಗಿದ್ದುವು. ಡಿಬೈ–ಷೆರರ್ (Debye-Scherrer) X-ಕಿರಣಗಳ ವಿಶ್ಲೇಷಣದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ವಿಧಾನವನ್ನು ಥಾಂಸನ್ ಅನುಸರಿಸಿದನು. ಕಿಕೂಚಿ ತನ್ನ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ 68,000 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳ ಅಧಿಕ ವೇಗದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ತೆಳುವಾದ ಮೈಕ (mica) ಹರಳಿನ ಪರೆಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದನು. ಇವನ ಪ್ರಯೋಗವು ಫ್ರೀಡ್ರಿಕ್, ಲಾ ಮುಂತಾದವರ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿದ್ದಿತು.

ಈ ಉಪಕರಣದ ಚಿತ್ರವನ್ನು (7.3) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. G ಎಂಬ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತುಪಾಕಿಯಿಂದ ಉತ್ಕರ್ಷಗೊಂಡ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು C ಎಂಬ ಹರಳಿನ ತೆಳುವಾದ ಪರೆಯ ಮೂಲಕ ನಮನ ಹೊಂದಿ ಹೊರಬಿದ್ದ ಮೇಲೆ P ಎಂಬ ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರದ ಮೇಲೆ ತಮ್ಮ ಆಕೃತಿಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಫಲಕದ ಮೇಲೆ ಗುರುತುಗಳು R ಎಂಬ ನಮನ ವೃತ್ತ (diffraction rings) ಗಳನ್ನು ಹೋಲುತ್ತವೆ. (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಥಾಂಸನ್ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಆಕೃತಿಗಳೂ, (c) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಿಕೂಚಿ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ಆಕೃತಿಗಳೂ ನಿರೂಪಿತವಾಗಿವೆ.

ಈ ಚಿತ್ರಗಳಿಗೂ X-ಕಿರಣಗಳು ಹರಳುಗಳಿಂದ ಪ್ರತಿಫಲಿತವಾಗುವ ಆಕೃತಿಗಳಿಗೂ ಸಂಪೂರ್ಣ ಹೋಲಿಕೆ ಇದೆ. ಅಂದರೆ ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್

ಗಳೂ ಕೂಡ, X - ಕಿರಣಗಳಂತೆಯೇ, ಅಲೆಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ವೇಗದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ್ದರಿಂದ ಅವುಗಳು ಸುಮಾರು $\lambda = 0.05$ A° ತರಂಗಾಂತರಕ್ಕೆ ಸಮನಾದ ಅಲೆಗಳಂತೆ ಪ್ರದರ್ಶಿತವಾದುವು.



ಚಿತ್ರ 7.3 ಜಿ. ಪಿ. ಥಾಂಸನ್ ಪ್ರಯೋಗ

X – ಕಿರಣಗಳ ವಿಶ್ಲೇಷಣದ ವಿಧಾನಕ್ಕಿಂತ ಹರಳುಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಪರೀಕ್ಷೆ ಮಾಡಲು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್–ನಮನ ವಿಧಾನವು ಹೆಚ್ಚು ಉಪಕಾರಿಯಾಗಿದೆಯೆಂದು ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಇದೇ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿಧಾನವನ್ನು ಜೆಂಕಿನ್ಸ್, ಲ್ಯಾಂಗ್‌ಮೂರ್ ಮುಂತಾದವರು, ಗ್ರಾಫೈಟ್, ಗ್ರೀಸ್ (grease) ತೈಲ ಮುಂತಾದುವುಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಲು ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದ್ದಾರೆ.

ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣವು ಸಾರ್ವತ್ರಿಕ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಎಲ್ಲ ವಿಧ ವಾದ ದ್ರವ್ಯಕಣಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವುದರಿಂದ, ಕೇವಲ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರವೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಬಿಡಿ ಪರಮಾಣುಗಳು ಮತ್ತು ಅಣುಗಳು ಕೂಡ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿವೆ. ಪರಮಾಣುಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (m) ಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗಿಂತ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಸಮಾನ ತರಂಗಾಂತರವು ಅತಿ ಕಡಮೆ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿ ರುವುದರಿಂದ, ನಮನ ವಿಧಾನದಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸುವುದು ಸ್ವಲ್ಪ ಕಷ್ಟದ ಕೆಲಸ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಬಿಡಿಪರಮಾಣುಗಳು ಮ್ಯಾಕ್ಸ್‌ವೆಲ್ ರೀತಿಯ ವೇಗದ ಹಂಚಿಕೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ತೊಡಕು ಬರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, 1927 ರಲ್ಲಿ ಡೆಂಪ್‌ಸ್ಟರ್ ಮತ್ತು ಇತರ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಜಲಜನಕ ಮತ್ತು

ಹೀಲಿಯಂಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತ ಉಪಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದರು.

ಹೀಗಾಗಿ, ಮೊದಲು ಕೇವಲ ತಾರ್ಕಿಕ ತತ್ತ್ವವಾಗಿ ಕಂಡುಬಂದ ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಹಲವಾರು ಪ್ರಮುಖ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಸಂಪೂರ್ಣ ಬೆಂಬಲವನ್ನು ತೋರ್ಪಡಿಸಿದುವು. ಇದರಿಂದ ಕಣ – ಅಲೆಗಳ ತತ್ತ್ವದ ಸಮನ್ವಯಕ್ಕೆ ಒಂದು ಸುಭದ್ರವಾದ ಸ್ಥಾನವು ದೊರಕಿದಂತಾಯಿತು.

7.5 ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ಸಮೀಕರಣ (Schrodinger Equation)

ಈಗ ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಮುಂದುವರೆಸಿ ಅದರ ವಿಶಾಲ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಲು ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ನೆರವಾದರು. ಇವರ ಪ್ರಯತ್ನಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಪಾತ್ರವಹಿಸುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ರೂಪರೇಖೆಗಳಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಯೇ ಪರಿಣಮಿಸಿತು.

ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ತರಂಗ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ರಚಿಸಿದನು.

ಚಲಿಸುವ ಕಣದೊಂದಿಗೆ ಸ್ಥಾಯೀ ಅಲೆಗಳ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನು ಸಂಯೋಗ ಮಾಡಿ, ಕಣದ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ x,y,z ಸ್ಥಾನಾಂಕಗಳಿಂದ ನಿರ್ದೇಶಿತವಾದ ಒಂದು ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ψ ಎಂಬ ಸಂಕೇತವು ನಿಯತಕಾಲಿಕ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಭಾವಿಸೋಣ. ಇದರ ಕಂಪನ ವೈಶಾಲ್ಯವು t ಸಮಯದಲ್ಲಿ

$$\psi = \psi_0 \operatorname{Sin} 2\pi \nu t \qquad \ldots \quad 7.12$$

ಎಂದು ಬರೆಯಬಹುದು. ಇಲ್ಲಿ ಅಲೆಗಳ ಸಂಯೋಗದಿಂದ ಕಂಪನ ಮಾಡುವುದು ಯಾವುದು ಯೆಂಬುದು ತಿಳಿಯದಿದ್ದರೂ, ತರಂಗ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗೆ ಕಾರಣವಾಗಿರುವ ಬದಲಾವಣೆಗಳೆಲ್ಲವೂ ψ ಸಂಕೇತಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕು.

ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ ಈ ತರಂಗ ವ್ಯವಸ್ಥೆ (wave system)ಯ ತರಂಗಾಂತರವು λ ಆದರೆ

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

m = ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ; v = ಅದರ ವೇಗ.

ψ_0 = (x,y,z) ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಕಂಪನ ವೈಶಾಲ್ಯದ ಮೌಲ್ಯ, ಇದು t ಬದಲಾವಣೆಯನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿಲ್ಲ.

ಸಾಮಾನ್ಯ ಅಲೆಗಳ ಸಮೀಕರಣದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = v^2\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right) = v^2\nabla^2\psi.$$

ಆದರೆ $\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = -4\pi^2\nu^2\psi = -\frac{4\pi^2 v^2\psi}{\lambda^2} \quad (v=\lambda\nu)$ ... 7.13

$$\therefore \quad \frac{-4\pi^2 v^2\psi}{\lambda^2} = v^2\nabla^2\psi$$

$$\therefore \quad \nabla^2\psi + \frac{4\pi^2}{\lambda^2}.\psi = 0. \qquad \text{... 7.14}$$

ಇಲ್ಲಿಯ ವರೆವಿಗೆ ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ವಿವರಣೆಯೇ ಆಯಿತು.

ಇದರಲ್ಲಿ $\lambda = \frac{h}{mv}$ ಎಂದು ಬರೆದರೆ,

$$\nabla^2\psi + \frac{4\pi^2 m^2 v^2}{h^2}.\psi = 0. \qquad \text{.. 7.15}$$

ಕಣದ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿ E ಆಗಿಯೂ, ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ (potential) ಶಕ್ತಿಯು V ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ,

$$E = \tfrac{1}{2}mv^2 + V$$

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = (E-V)$$

$$m^2v^2 = 2m(E-V) \qquad \text{... 7.16}$$

$$\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E-V)\psi = 0 \qquad \text{... 7.17}$$

ಇದೇ ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ರಚಿಸಿದ ಪ್ರಧಾನ ತರಂಗ ಸಮೀಕರಣ. ಇದು ಹೊರ ಮಂಡಲ (space)ಕ್ಕೆ ಮಾತ್ರ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ψ ಸಂಕೇತಕ್ಕೆ 'ತರಂಗ ಅವಲಂಬಿ' (wave function) ಎಂದು ಹೆಸರಿಡಬಹುದು.

ಇದನ್ನೇ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಕಾಲ (t) ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಬದಲಾವಣೆಗಳನ್ನೂ ಅಳವಡಿಸಿ, ಈ (t) ಕಾಲಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ, ಸಮೀಕರಣದ ಹೊಸ ರೂಪವನ್ನೂ ರಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಅಂತ್ಯ ರೂಪವು ಹೀಗಿದೆ.

$$\frac{ih}{2\pi}.\frac{\partial\psi}{\partial t} = \frac{h^2}{8\pi^2 m}.\nabla^2\psi - V\psi \qquad \text{... 7.18}$$

ಇದರಲ್ಲಿ $i = \sqrt{-1}$ ಇರುವುದನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕು. ಇದರಲ್ಲಿ ಮೂರು ವಿಧವಾದ ತರಂಗ ಚಲನೆಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಸೇರಿಕೊಂಡಿವೆ. ಇವು ಯಾವುವೆಂದರೆ : (i) ತಂತಿಯ ಕಂಪನಗಳು, (ii) ಅನಿಲದಲ್ಲಿ ಶಬ್ದದ ಅಲೆಗಳ ಪ್ರಸಾರ ಮತ್ತು (iii) ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳು.

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣವು ವಿಶಾಲವಾದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ಹಲವಾರು ಸಮಸ್ಯೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಸರಳ ಸಂಗತ ಕಂಪನಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ಒಂದು ಆಂದೋಳಕ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗೆ (Simple Harmonic Oscillator) ಇದನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು.

ಅದರ ಸಮೀಕರಣವು

$X = A \sin 2\pi\nu t$ ಎಂಬ ರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದು.
ಇದರ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯ ಮೌಲ್ಯವು E ಆದರೆ,

$$E = (n + \tfrac{1}{2})\, h\, \nu \qquad \ldots \qquad 7.19$$

ಎಂಬ ಅಂತಿಮ ರೂಪವನ್ನು ಸಾಧಿಸಬಹುದು. ಈ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಆಂದೋಳಕದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸ್ಥಿತಿಗಳು ನಿರೂಪಿತವಾಗಿದೆ. $n = 0$ ಆದಾಗ,

$$E = \tfrac{1}{2}\, h\nu \qquad \ldots \qquad 7.20$$

ಆಗಬೇಕು ಅಂದರೆ, 'ಶೂನ್ಯ ಬಿಂದು ಶಕ್ತಿ' (zero point energy)ಯ ಮೌಲ್ಯವು ಶೂನ್ಯವಾಗಿರದೆ $\frac{1}{2}\,h\nu$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಇದು ಶೂನ್ಯವಾಗಿರಬೇಕು. ಆದರೆ, ತರಂಗ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರ (wave mechanics)ದ ಪ್ರಕಾರ, ಇದಕ್ಕೆ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮೌಲ್ಯವಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದು ಅತಿಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯ. ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಿದಾಗ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಭ್ರಮಣ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆ (s)ಯು $\frac{1}{2}$ ಎಂದು ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದು ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ವಿರುದ್ಧವಾದುದು. ಆದರೆ, ತರಂಗ. ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ಅರ್ಥವು ತಿಳಿದಂತಾಯಿತು.

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ಸರಳ ಭ್ರಾಮಕ ವ್ಯವಸ್ಥೆ (Simple Rotator)ಗೂ ಇದನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಹಳೇ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೂ ಈಗಿನ ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರಕ್ಕೂ ಒಂದು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ.

ಹಳೆಯ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, P_ϕ = ಕೋನೀಯ ಆವೇಗ (angular momentum) ಆದರೆ,

$$P_\phi = n\frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3...)$$

ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ

$$P_\phi = \frac{h}{2\pi}\sqrt{n\,(n+1)} \qquad \ldots \qquad 7.21$$

ಅಂದರೆ, n ಗೆ ಬದಲಾಗಿ $\sqrt{n\,(n+1)}$ ಎಂದು ಬರೆಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಮಾರ್ಪಾಡು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿದೆ.

ಈಗ, ಈ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸಂಕೇತವೆಂದರೆ ψ. ಇದರ ಭೌತ ಅರ್ಥವೇನು ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಅವಶ್ಯಕ. ಮಿಲಿಕನ್ ಮುಂತಾದವರು ಇದನ್ನು ಒಂದು 'ಲೆಕ್ಕಾಚಾರದ ಸಾಧನ' (artifice of calculation) ಎಂದು ತಿಳಿಸುತ್ತಾರೆ. ಆದರೆ, ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ಈ ಸಮೀಕರಣದ ನಿರ್ಮಾತೃವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಆತನ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಸಹಾಯಕ ವಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಆತನ ಪ್ರಕಾರ ψ = ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಸಾಂದ್ರತೆ (charge density). ಅಂದರೆ, ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯ ಅಲೆಯ ಕಂಪನ ವೈಶಾಲ್ಯ (amplitude of the matter wave) ವು ψ ಆದರೆ, ಆ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಗಾತ್ರ ಮಾನದಲ್ಲಿ (unit volume) ಅಡಗಿರುವ ಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು $a\,\psi$. ಅಂದರೆ, $|\psi^2|$ ಎಂಬುದನ್ನು ಕಣದ ಸಾಂದ್ರತೆಯ ಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳ ಬಹುದು. ಈ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡುವುದರಿಂದ ಭೋರ್ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸ್ಥಿರ ಸ್ಥಿತಿಗಳನ್ನು ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಗಣನೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ಅರ್ಥ ಕಲ್ಪನೆಯು 1926ರಲ್ಲಿ ಬಾರ್ನ್, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ಮುಂತಾದವರಿಂದ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟಿದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ ψ^2 ಕಣದ ಸಾಂದ್ರತೆಯನ್ನು ಸೂಚಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಅದಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಸಮಯ (instant) ದಲ್ಲಿ ಕಣವನ್ನು ಗುರುತಿಸುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಮಾತ್ರ (probability) ಸೂಚಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದು ತೃಪ್ತಿಕರವಾದ ವಿವರಣೆ ಯಾಗಿ ತೋರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ತರಂಗವೆಂದರೆ, ಯಾವ ಭೌತ ಸಂಭವವೂ ಅಲ್ಲ. ಭೌತ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರದ (non-physical) ಒಂದು ಸಂಭವನೀಯ ಅಲೆಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತದೆ. ಇದೇ ವಿಧವಾದ ಸಂಭವನೀಯತೆಯ ಕಲ್ಪನೆಯೇ ಶಕ್ತಿ ವಿಕಿರಣಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ.

ವಿಕಿರಣಶಕ್ತಿಯು ದ್ರವ್ಯದೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುವಾಗ, ನಾವು ಯಾವಾಗಲೂ, ಒಂದು ಸಂಪೂರ್ಣ ಫೋಟಾನ್ ಒಂದಿಗೆ ಮಾತ್ರ ವ್ಯವಹರಿಸಬೇಕು. ಆದರೆ, ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಆ ಫೋಟಾನ್ ಇದೆಯೇ ಎಂಬುದನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ತರಂಗರೂಪದ ಕಡೆಗೆ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಹರಿಸಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಆ ಅಲೆಯ ಕಂಪನ ವೈಶಾಲ್ಯದ ವರ್ಗ (ψ^2)ವು ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಕಣವು ಇರುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯನ್ನು ತಿಳಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯ ಸಂಖ್ಯಾಶಾಸ್ತ್ರೀಯ (statistical) ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಬೆಳಕಿನ ವಿಕಿರಣಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಈಥರ್ ಮಧ್ಯಮದ ಕಲ್ಪನೆಯೇ ಅನವಶ್ಯಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ, ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತೀಯ ಅಲೆಗಳ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ತೊಡಕಾಗಿದ್ದ ಮಾಧ್ಯಮದ ಸಮಸ್ಯೆಯು ತಾನಾಗಿಯೇ ಮಾಯವಾದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ವಿಶೇಷ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ – ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ (ಶಕ್ತಿ)ಗಳ ದ್ವಿಮುಖವರ್ತನೆಗೆ ಸಮಾಧಾನವು ಬಂದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಕಣ ಮತ್ತು ತರಂಗ ಕಲ್ಪನೆಗಳು ನಿಖರವಾಗಿಯೂ ಪೂರಕಗಳಾಗಿವೆ (strictly complementary). ಕಣಗಳು ಹೊರಮಂಡಲ (space) ದಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುವ ವಿಧಾನವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ತರಂಗಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಬೇಕಾಗುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ನಾವು ತರಂಗ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನೇ ಮಾಡಬೇಕಾದಾಗ, ಕಣದ ಕಲ್ಪನೆಯು ಹಿಂದಕ್ಕೆ ಸರಿಯುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಅದು ಒಂದು ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಸಾಂದ್ರತೆಯಾಗಿಯೇ ಉಳಿಯುತ್ತದೆ. ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ತಿಳಿದುಬರುವ ಸತ್ಯಾಂಶ (reality) ವನ್ನು ಹೀಗೆ ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ದ್ರವ್ಯವೇ ಆಗಲಿ, ವಿಕಿರಣ (ಶಕ್ತಿ)ಯೇ ಆಗಲಿ, ಅದರ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅನಿರ್ವಚನೀಯ ಹಾಗೂ, ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದ ಸಂಗಮವು (fusion) ಕಾಣಬರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಸಂಗಮವಾಗುವ ಎರಡು ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವಗಳು, ವಿರೋಧವಾಗಿದ್ದರೂ, ಪೂರಕವಾದುವು. ಒಂದು ಅಖಂಡ ತರಂಗ ಮತ್ತೊಂದು ವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಕಣ. ಇದೊಂದು ವಿಚ್ಛಿನ್ನ ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆಯಂತೆಯೂ, ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ ವಿಚ್ಛಿನ್ನತೆಯೂ ಆಗಿದ್ದು ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟರೂಪದ ಐಕ್ಯತೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ (complex unity).

7.6. ತರಂಗ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯ ಆಕೃತಿ

ಹಿಂದಿನ ಸದಿಶ – ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟಸ್ಥಾನ ಮತ್ತು ಚಲನ ವಲನಗಳ ವಿನ್ಯಾಸವನ್ನು ಕಣಪೇಟಿ ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಆದರೆ, ತರಂಗ ಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಕಣ ಮತ್ತು ಅಲೆ ಎಂಬ ದ್ವಿಮುಖ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಕೊಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿರುವ ಸಂಭವವನ್ನು ತರಂಗ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅದರ ನಿಖರಸ್ಥಾನದ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವವು ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ತನ್ನ ಮೂಲತತ್ತ್ವದಲ್ಲಿ ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡಿದ್ದಾನೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ತತ್ತ್ವದ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಮುಂದೆ ಸ್ವಲ್ಪ ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ಕೊಡಲಾಗುತ್ತದೆ. ಹಿಂದಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪಥ (orbit)ದ ಕಲ್ಪನೆಯಿದ್ದಿತು. ಈಗ ಅಲೆಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಆಳವಡಿಸಿದರೆ, ಆಕೃತಿಯು ಮಾರ್ಪಾಡಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಹೊಸ ಕಲ್ಪನೆಯಲ್ಲಿ, ಒಂದು ಮೂಲ ಸ್ಥಾನದಿಂದ ಮುಕ್ತ (free) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು ಶೂನ್ಯ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಹರಡುವಾಗ, ಒಂದು ತಟಾಕದ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ಉದ್ಭವವಾದ ಕಿರಿ ಅಲೆಗಳು (ripples) ವಿಸ್ತರಿಸುತ್ತಿರುವ ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಹಬ್ಬುವಂತೆ, ಅವುಗಳನ್ನು ಹೋಲುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಆದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶದೊಂದಿಗೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಕರ್ಷಣಬಲಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಅವುಗಳು ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿ ಕಳಚಿಕೊಳ್ಳುವುದಕ್ಕೆ ತಡೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ತಂತಿಯ ಕಂಪನಗಳಿಂದ ಏರ್ಪಡುವ ನಿಶ್ಚಲ ಅಲೆಗಳು (stationary waves) ನಿಶ್ಚಲ ಬಿಂದು (nodes) ಗಳನ್ನೂ ಕುಣಿಕೆ (loops) ಗಳನ್ನೂ ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಲೆಗಳೂ ಕೂಡ ಸ್ವಲ್ಪದೂರ ಪ್ರಸರಿಸಿ, ಒಂದೇ ಪ್ರದೇಶದಿಂದ ಪ್ರತಿಫಲನ ಹೊಂದುವುದರಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿಯೂ ನಿಶ್ಚಲ ಅಲೆಗಳ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಬೇಕು. ಈ ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಆಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಮಾರ್ಪಾಡಾಗುವ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಈಗ ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

(i) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ತನ್ನ ವ್ಯಕ್ತಿತ್ವದಲ್ಲಿದ್ದ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿಯಾಗಿ ಒಂದು ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯ ಕಡೆಗೆ ಲಕ್ಷ್ಯವನ್ನಿಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆಯೇ ಹಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಸಂಭವನೀಯತೆಯ ಅಲೆಗಳ (probability waves) ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಬೇಕು.

(ii) ಹಿಂದಿನ ಆಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪಥಗಳ ನಿರ್ದೇಶನವೂ ಸಾಧ್ಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ತಾತ್ತ್ವಿಕವಾಗಿ ಒಂದು ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಎಲ್ಲಿಯಾದರೂ ಇರಬಹುದಾದ ಸಂಭವವಿದ್ದು ಅತಿದೂರದಲ್ಲಿ (infinity) ಆಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಶೂನ್ಯವಾಗಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಒಂದು ಗೊತ್ತಾದ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಈ ಸಂಭವ

ನೀಯುತೆಯು ಬಹಳ ಚೂಪಾಗಿ (sharply) ಇಳಿಯುವ ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಇದನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನ ಗಾತ್ರಮಿತಿ (boundary) ಎಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು.

(iii) ನಿಶ್ಚಲ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಲೆಗಳು ಹಲವು ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಪನಮಾಡಬಹುದು. ಅವುಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳೂ, ತರಂಗಾಂತರಗಳೂ. ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳೂ ಕೂಡ ಬದಲಾಗಬೇಕು. ಇದನ್ನು ತರಂಗಸಮೀಕರಣಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, ಅದನ್ನು ಸಿದ್ಧಿಸಲು (solve) ಕೆಲವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟಗುಣಾಂಕಗಳ (coefficients) ಅವಶ್ಯಕತೆಯು ಇರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗಿಯೂ, ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಭಿನ್ನಾಂಶಗಳಾಗಿಯೂ ಇರಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನೇ ನಾವು ಹಿಂದೆ ಗುರುತು ಮಾಡಿದ್ದ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನಾಗಿ ಗಣಿಸಬಹುದು. ಒಂದು ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇನೆಂದರೆ: ಹಿಂದಿನ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳು ಕೃತಕವಾಗಿ ಕಲ್ಪಿತವಾಗಿದ್ದುವು. ಈಗ ಅವುಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಖಚಿತವಾದ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಹೊಸ ಅರ್ಥವು ಬರುತ್ತದೆ.

ಈ ಹೊಸ ಮಾರ್ಪಾಡುಗಳನ್ನು ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಹೇಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು ಎಂಬುದನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿಯನ್ನೇ ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

7.7 ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿ

ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಬೀಜವು ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಆಗಿದ್ದು ಅದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವು $+e$ ಮತ್ತು ಅದರ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ $(-e)$ ಇರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರವು a ಆದರೆ,

ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿ $$V = \frac{-e^2}{a}. \qquad \dots \quad 7.22$$

ಬೀಜದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ M, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ m ಆಗಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳ ಚಲನೆಗಳನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಟ್ಟರೆ, ತಿದ್ದುಪಡಿಸಿದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು $m^1 = \frac{mM}{M+m}$ (Reduced mass). ... 7.23

ಇವುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ಸಮೀಕರಣವು

$$\nabla^2\psi + \frac{8\pi^2 m^1}{h^2}\left(W + \frac{e^2}{a}\right)\psi = 0 \qquad \dots \quad 7.24$$

ಆಗುತ್ತದೆ.

ಸ್ಥಾಯೀ ಸ್ಥಿತಿ (ground state) ಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, $\frac{e^2}{a}$ ಗೋಳೀಯ ಸಮ ಮಿತಿಯಾಗಿರಬೇಕು (spherically symmetrical). ಇದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ψ ಕೂಡ ಹೀಗೆಯೇ ಇರಬೇಕಾದರೆ, ಕೆಲವು ನಿಯಮಗಳು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳಿದ್ದರೆ, ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಸಿದ್ಧಿಸ (solutions) ಬಹುದು. ಈ ಗಣಿತದ ಭಾಗವು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅಂತಿಮ ರೂಪವು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದಂತೆ ಇರಬೇಕು.

$$W = -\frac{2\pi^2 m^2 e^4}{h^2} \qquad \ldots \quad 7.25$$

ನಾವು ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಇದೇ ಮೌಲ್ಯವು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಯ ಮೌಲ್ಯವು (n = 1) ಸ್ಥಾಯೀ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ.

dv ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಕಾಣುವ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು

$$\psi^2 \cdot dv = \epsilon^{-2a} \qquad \ldots \quad 7.26$$

ಇದನ್ನು ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಅತ್ಯಂತ ಸಂಭವನೀಯವಾದ ಮೌಲ್ಯವು

$$a = \frac{1}{a} \text{ ಎಂದು ತೋರಿಸಬಹುದು.} \qquad \ldots \quad 7.27$$

$$\text{ಇಲ್ಲಿ } a = \frac{4\pi^2 m^1 e^2}{h^2}$$

$$\therefore \quad a = \frac{h^2}{4\pi^2 m' e^2} \qquad \ldots \quad 7\ 28$$

ಇದೇ ಭೋರ್ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಮೊದಲನೆಯ (n = 1) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಪಥದ ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯ.

ಹಾಗೆಯೇ n ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪಥಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ

$$W_n = -\frac{4\pi^2 m^1 e^4}{n^2 h^2} \qquad \ldots \quad 7.29$$

$$a_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m^1 e^2} \qquad \ldots \quad 7.30$$

ಎಂದು ತೋರಿಸಬಹುದು.

ಇದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವುದೇನೆಂದರೆ, ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಆಧಾರದ ಮೇಲೆ ರಚಿಸಿದ ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ಸಮೀಕರಣದಿಂದಲೂ ಕೂಡ, ಭೋರ್ ಕಲ್ಪನೆಗೆ ಸರಿಹೋಗುವ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಸಿದ್ಧಿಸಬಹುದು.

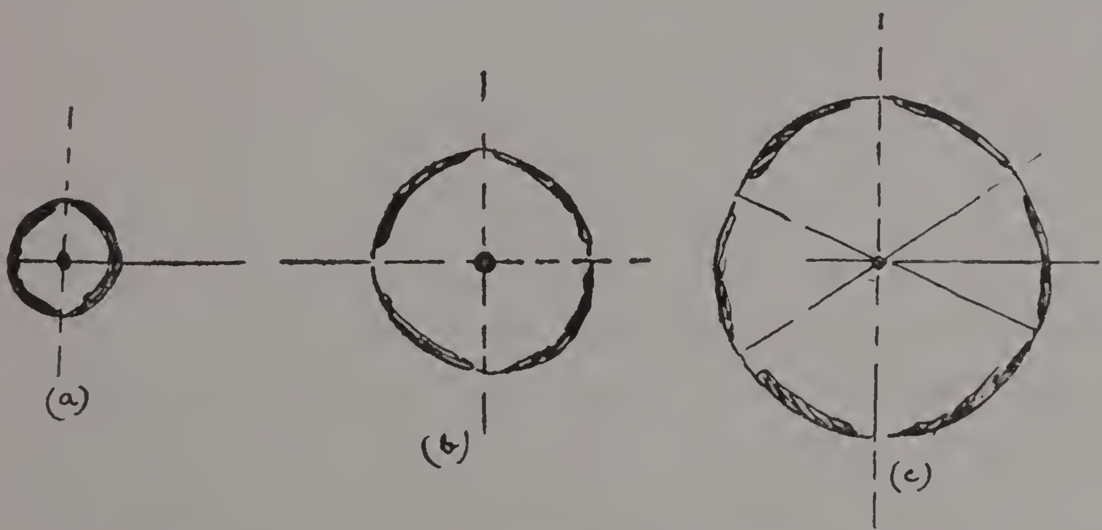
ಇನ್ನು ಪ್ರವ್ಯ-ಅಲೆಗಳ ಸಮನ್ವಯದ ತತ್ತ್ವದಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿಯು ಹೇಗೆ ಕಾಣುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ನೋಡಬೇಕು. ಇದರ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್, ಷ್ರೋಡಿಂಗರ್ ಮತ್ತು ಡೈರಾಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿ, ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕಗಳನ್ನು ಪಡೆದಿದ್ದಾರೆ.

ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಸುತ್ತುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಅಲೆಗಳ ಗುಂಪಿನ (wave packet) ರೂಪವನ್ನು ಆರೋಪಿಸಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಶಬ್ದದ ಅಲೆಗಳಲ್ಲಿರುವಂತೆ ಸ್ಥಾಯೀ ಅಲೆಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೆ ಅನುರೂಪವಾಗಿ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಈ ಅಲೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಸುತ್ತುವ ಪಥದ ಪರಿಧಿಯು ತರಂಗಾಂತರಗಳ ಒಂದು ಸಂಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೆ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು. ಅದರ ಪರಿಧಿಯು $2\pi a$. ಡಿ. ಬ್ರೋಲಿ ತರಂಗಾಂತರ $= \lambda = \frac{h}{m\nu}$ ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಕೆಳಗಿನ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿರಬೇಕು. ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಕೆಳಗಿನ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿರಬೇಕು.

$$n\lambda = n.\frac{h}{mv} = 2\pi a. \quad (n = 1, 2, 3 \ldots) \qquad \ldots \; 7{\cdot}31$$

ಇದೇ ಭೋರ್ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಸಮೀಕರಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಏಕೆಂದರೆ, ಅದರ ಪ್ರಕಾರ $mv\,a = \frac{nh}{2\pi}$ ಇದೂ ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣವೂ ಒಂದೇ. ಇದರ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಹೀಗೆ ಕಲ್ಪಿಸಬಹುದು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಲೆಯು ಬಹಳ ಉದ್ದವಾಗಿದ್ದು ಅದು ಸ್ಥಾಯೀ ಅಲೆಗಳಿಗೂ ವಿಸ್ತರಿಸುವಂತಿರಬೇಕು (stationary waves). (a), (b), (c) ಗಳು ವಿವಿಧ



ಚಿತ್ರ 7.4 ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಪಥ-ಅಲೆಗಳು

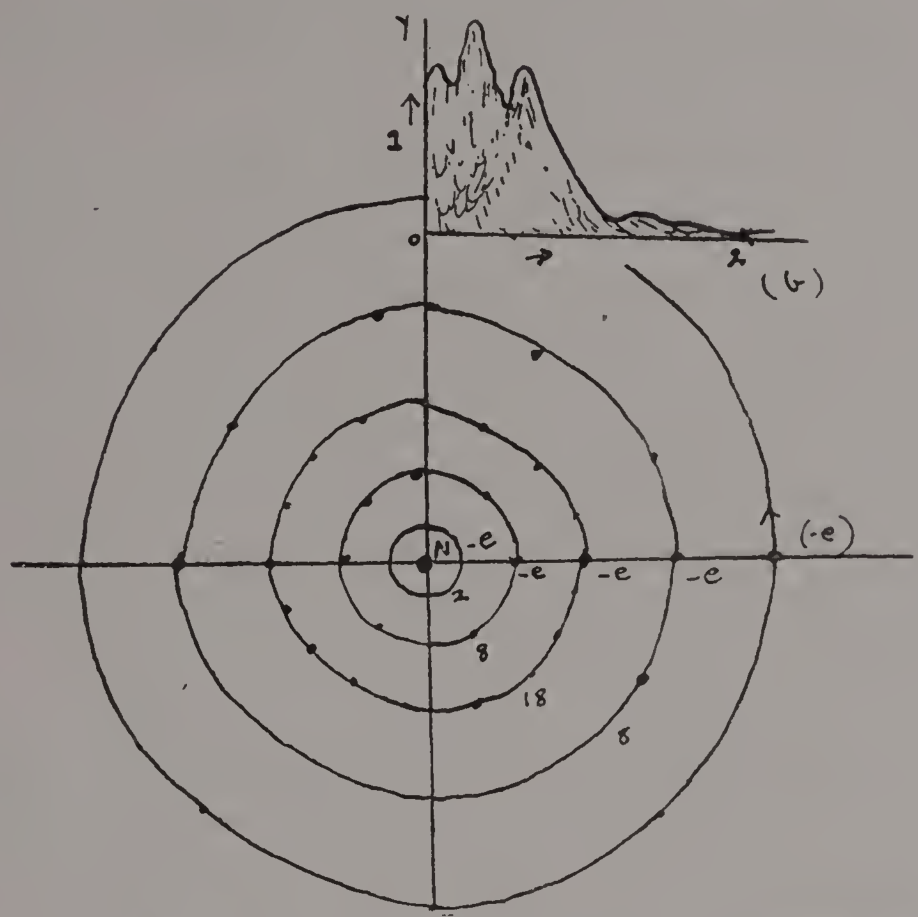
ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತವೆ. (a) ಪರಿಧಿಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ನಿಶ್ಚಲ ಬಿಂದು (nodes) ಗಳೂ, (b) ನಲ್ಲಿ ನಾಲ್ಕು ಮತ್ತು (c) ನಲ್ಲಿ ಆರು ಇರಬಹುದೆಂಬುದನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, $2\pi a = \lambda$, $2\pi a = 2\lambda$; $2\pi a = 3\lambda$ ಆಗಬಹುದು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಈ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಮೂರು ಪರಿಮಾಣಗಳಿಗೂ ವಿಸ್ತರಿಸಬೇಕಾಗುವುದು.

ಈ ನಿರೂಪಣೆಯಿಂದ, ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿಯು ವಾಸ್ತವ ರೂಪದ ಚಿತ್ರವು ಬಹಳ ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ. ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಈ ಮಾನಸಿಕ ಕಲ್ಪನೆಯು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬಹುದಾದರೂ, ಅದರ ವಾಸ್ತವಿಕ ವಿವರಣೆಯು ಅಷ್ಟೇನೂ ಸುಲಭವಲ್ಲ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಸಾಂದ್ರತೆಯು ಅತ್ಯಂತ ಸಂಭವನೀಯ ಪ್ರದೇಶಗಳನ್ನೂ ಕೆಲವು ನಿಶ್ಚಲ ಬಿಂದುಗಳನ್ನೂ ನಾವು ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು.

ಇದೇ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನೇ ವಿಸ್ತರಿಸಿ, ಹಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿರುವ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿಯ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನೂ ಮಾನಸಿಕ ಕಲ್ಪನೆಗಳಿಗೆ ಒಳಪಡಿಸಬೇಕು. ಈ ಹೊಸ ನೋಟದಲ್ಲಿ ಅಲೆಗಳ ಸಂಭವನೀಯತೆಯು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಾಮುಖ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೂ, ಸಾಮಾನ್ಯ ಅನುಕೂಲತೆಯ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ, ಹಿಂದಿನ ಸಿದ್ಧಾಂತದಲ್ಲಿ ರೂಪಿಸಿದ್ದ ಕವಚಗಳು (shells) ಮತ್ತು ಪಥಗಳು (orbits) ಎಂಬ ಪದಗಳನ್ನು ಉಳಿಸಿಕೊಂಡು ಹೊಸ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕೊಡಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಉದಾಹರಣೆಗಾಗಿ, ರುಬಿಡಿಯಂ (Rb) ಪರಮಾಣುವಿನ ಆಕೃತಿಯು ಹೇಗೆ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತದೆಂಬುದನ್ನು ಚಿತ್ರ (7.5) ನಿರೂಪಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ 37 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇದ್ದು (a) ಮತ್ತು (b) ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಜೋಡಣೆಯ ಆಕೃತಿಯನ್ನೂ ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಹಂಚಿಕೆಯ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯನ್ನೂ ಕಾಣಬಹುದು.

ಹಳೆಯ ಭಾವನೆಯ ಪ್ರಕಾರ K, L, M, N, O ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಕ್ರಮವಾಗಿ 2, 8, 18, 8, 1 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುವುದನ್ನು (a) ಚಿತ್ರವು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಸಮತಲಕ್ಕೆ ಸೇರಿದುವು. ಆದರೆ, ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ, ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಸಾಂದ್ರತೆಯು, ಹಲವು ಉಚ್ಚ ಮೌಲ್ಯಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ ಇವುಗಳಿಗೂ, K, L, M, N, O ಕವಚಗಳಿಗೂ ಕೇಂದ್ರ ಬೀಜ (N) ಕ್ಕೂ ಇರುವ ದೂರಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರಬೇಕು. ಇದನ್ನೇ (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. ಈ ಹಂಚಿಕೆಯು ಮೂರು ಪರಿಮಾಣಗಳ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಹಬ್ಬಿರುವುದಾಗಿ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಈ ಹೊಸ ಅರ್ಥವನ್ನು ಆರೋಪಿಸಿಕೊಂಡರೆ, ಹಳೆಯ ಮಾದರಿಯ ಕವಚಗಳ ರೀತಿಯ ಆಕೃತಿಯ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಉಳಿಸಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು.

ಈ ಹೊಸ ತರಂಗಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಎಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಅದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಸಮರ್ಪಕವಾದ ವಿವರಣೆಗಳನ್ನು ಪಡೆ



ಚಿತ್ರ 7.5 ಹಳೆಯ ಮತ್ತು ಹೊಸ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣು ಆಕೃತಿ ಚಿತ್ರಗಳು

ಯಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರುವ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಸಂಭವಗಳ ಪಟ್ಟಿಯನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.

1. ಜಲಜನಕ ಮತ್ತು ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುಗಳು
2. ವಸ್ತುಗಳ ಕಾಂತೀಯ (magnetic) ಲಕ್ಷಣಗಳು
3. ಪರಮಾಣು ಮತ್ತು ಅಣುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ದ್ಯುತೀಯ ಮತ್ತು X- ವರ್ಣಪಟಲಗಳು
4. ಜೀಮಾನ್ ಮತ್ತು ಸ್ಟಾರ್ಕ್ ಕ್ರಿಯೆಗಳು
5. ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳು; ದ್ಯುತಿವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ, ರಾಮನ್ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ, ಕಾಂಪ್ಟನ್ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ–ಇತ್ಯಾದಿ.
6. ದ್ರವ್ಯದ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್, ಪ್ರೋಟ್ರಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು α- ಕಣಗಳು ಮುಂತಾದುವುಗಳ ಚದರುವಿಕೆ.

7. ಕೃತಕ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳು.

8. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಗುಣಗಳು : ಬೀಜದ ಭ್ರಮಣ, ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ಸಂಖ್ಯಾಶಾಸ್ತ್ರ–ಇತ್ಯಾದಿ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, 1925–1930 ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಒಂದು ಹೊಸ ರೂಪವನ್ನು ತಾಳಿತು. ಕಣ ಮತ್ತು ಅಲೆ ಎಂಬ ಎರಡು ರೂಪಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ವಿರೋಧವಲ್ಲವೆಂದೂ, ಪೂರಕಗಳೆಂದೂ ತಾತ್ತ್ವಿಕವಾಗಿಯೂ, ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕವೂ, ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಸಾಧಿಸಲಾಯಿತು. ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಈ ಎರಡು ರೂಪಗಳನ್ನೂ ದ್ರವ್ಯದಲ್ಲಿಯೂ, ವಿಕಿರಣ(ಶಕ್ತಿ)ದಲ್ಲಿಯೂ ಕಾಣಬಹುದೆಂದೂ ಖಚಿತಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಅಂದರೆ, ದ್ರವ್ಯ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಬಹುದಾದ ಏಕೈಕ ತತ್ತ್ವದ ಸಾಧ್ಯತೆಯೂ ಕಂಡುಬಂದಿತು. ಹಳೆಯ ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತವನ್ನು ಮಾರ್ಪಡಿಸಿ, ಅಲೆಗಳ ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನೂ ಸರಿಹೊಂದಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಹೊಸ ತರಂಗಚಲನಶಾಸ್ತ್ರವು ಸ್ಥಿರವಾಗಿ ನಿಂತಿತು.

ಇದೇ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿಯೇ, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ತನ್ನ 'ಅನಿಶ್ಚಿತತೆ'ಯ ತತ್ತ್ವವನ್ನೂ (Principle of Uncertainty) ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಇತರ ತತ್ತ್ವಗಳಿಗೆ ಇದೂ ಪುಷ್ಟಿಯನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿತು. ಇದನ್ನು ಬೇರೆ ಒಂದು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗುವುದು.

8. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜ - ಅದರ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ

8.1 ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜ

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, 1911 ರಲ್ಲಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಅವನ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು ಮಾಡಿತೋರಿಸಿದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಒಂದು ಬೀಜಾಕೃತಿಯನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಲಾಯಿತು. a – ಕಿರಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಖಚಿತವಾದ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಹೀಗಿದ್ದುವು. (i) ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಅಂಗ ಗಳಿವೆ. ಮೊದಲನೆಯದು ಅದರ ಬೀಜ (nucleus). ಇದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರ ದಲ್ಲಿದ್ದು ಅದರಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬಹುತೇಕದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವೆಲ್ಲವೂ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತ ವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಕೆಲವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮಾನಗಳಿವೆ. (ii) ಈ ಬೀಜಕ್ಕೆ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರದಲ್ಲಿ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕೆಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರುತ್ತವೆ.

ಕೇಂದ್ರದ ಗಾತ್ರ ಪ್ರಮಾಣವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ವ್ಯಾಸವನ್ನು 10^{-14} ಮೀಟರ್ ಎಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಇರುವ ಪ್ರದೇಶಕ್ಕೂ ಇರುವ ಅಂತರದ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು $0{\cdot}5 \times 10^{-10}$ ಮೀಟರ್ (0·5 A°) ಇರಬಹುದು. ಇದನ್ನೇ ನಾವು ಪರಮಾಣುವಿನ ತ್ರಿಜ್ಯವೆಂದು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಭಾವಿಸುತ್ತೇವೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಪರಮಾಣುವಿನ ಆವರಣದಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರದೇಶವೆಲ್ಲ ಶೂನ್ಯವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜದ ಗಾತ್ರವು ಅತ್ಯಲ್ಪವೂ ಗಮನಾರ್ಹ ವಲ್ಲವೂ ಇರುವಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುವು ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, e ಎಂಬುದು ಅಭೇದ್ಯ ವಿದ್ಯುದಂಶ ಮಾನವಾದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ Z ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿದ್ದರೆ, ಅವುಗಳ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಂಶವು $-Ze$. ಇದನ್ನು ಸಮತೂಗಿಸಲು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಒಟ್ಟು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವು $+Ze$ ಆಗಿರಬೇಕು. Z ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನ ಸಂಖ್ಯೆಯೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಕ್ರಮವಾಗಿ ತೋರಿಸಲಾಗಿರುವ ಪಟ್ಟಿಯನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ $Z = 1$ ಅಂದರೆ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾತ್ರ ಇರುವ ಪರಮಾಣುವಿದೆ. ಹೀಲಿಯಂನಲ್ಲಿ ಎರಡು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇದ್ದು $Z = 2$. ಹೀಗೆಯೇ ಮುಂದುವರಿಸುತ್ತ ಹೋದರೆ,

Z = 92 ಗೆ ಅನುಗುಣವಾದ ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. Z = 1 ಇಂದ ಹಿಡಿದು Z = 92 ವರೆಗೆ ಇರುವ ಎಲ್ಲಾ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಿಗೂ ಕ್ರಮವಾಗಿ ಮೂಲ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಗುರುತು ಮಾಡಲಾಗಿದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಹೊರಗೆ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುವ ವಿವಿಧ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಯಾವ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಜೋಡಣೆಯಾಗಿವೆ ಎಂಬ ವಿಷಯವನ್ನು ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯ ಗಳಲ್ಲಿ ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ವಿನ್ಯಾಸವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು, K, L, M, N...ಎಂಬ ವಿವಿಧ ಕವಚಗಳಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ ಎಂದು ತೋರಿಸಿದ್ದಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿರಬಹುದಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಮಿತಿಯ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನೂ ಸೂಚಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳು ಕ್ರಮವಾಗಿ 2, 8, 18, 32... ಆಗಿರುತ್ತವೆ.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ದೀರ್ಘವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಚಲನೆಯೊಂದಿಗೆ ತಮ್ಮ ಅಕ್ಷಗಳ ಮೇಲೆ ಭ್ರಮಣವಾಗುವ ಚಲನೆಗಳೂ ಕೂಡಿಕೊಂಡಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಲು ಹಲವು ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಗೊತ್ತುಪಡಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ಎಲೆ ಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನವಲನಗಳಿಂದ ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುಗಳ ಹಲವಾರು ಪ್ರಮುಖ ಭೌತಿಕ ಮತ್ತು ರಾಸಾಯನಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಬಹುದು. ಇದರಲ್ಲಿ ದ್ಯುತೀಯ ಮತ್ತು X–ವರ್ಣಪಟಲಗಳ ವಿಶ್ಲೇಷಣವು ಅತಿ ಪ್ರಮುಖ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿವೆ.

ಈಗ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ ತಿರುಳುಸ್ವರೂಪ (kernel) ದ ಬೀಜದ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪರಿಚಯವನ್ನು ಮಾಡಿ ಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. 1930 ರಿಂದ ಈಚೆಗೆ ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿ ಸಂಶೋಧನೆ ಗಳು ನಡೆದಿದ್ದರೂ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯಗಳು ಅದಕ್ಕೆ ಹಿಂದೆಯೇ ಗೊತ್ತಾ ಗಿದ್ದುವು. ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ (natural radio-activity) ವಿಷಯ. ಹತ್ತೊಂಬತ್ತನೆಯ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಗೊತ್ತಾದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ, ಯುರೇನಿಯಂ, ಥೋರಿಯಂ, ರೇಡಿಯಂ ಮುಂತಾದ ಕೆಲವು ಅತಿ ಭಾರ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಸ್ವಯಂ ಪ್ರೇರಿತವಾಗಿಯೂ, ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ a, β ಮತ್ತು γ ಎಂಬ ಮೂರು ವಿಧವಾದ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತಿರುವುದು ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಈ ವಿಕಿರಣ ದಿಂದ ಮೂಲ ವಸ್ತುಗಳ ರಚನೆಯೇ ಮಾರ್ಪಾಡಾಗುತ್ತ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತವೆ. ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ (radio-activity) ವಸ್ತುಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು. ಈ ಮೂರು ವಿಧವಾದ ಕಿರಣಗಳ ಮೂಲಸ್ಥಾನವು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜವೆಂದು ಅವುಗಳ ಮೂಲಕ ಅದರ ರಚನೆಯು ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆಂದೂ ಭಾವಿಸಬೇಕಾಯಿತು.

ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮತ್ತು ಆಸ್ಟನ್ ಮಾಡಿದ ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಪ್ರಾಯಶಃ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳು ಮಿಲಿತವಾಗಿವೆಯೆಂದು ಸ್ಪಷ್ಟಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಸಮಸ್ಥಾನಿ (isotopes) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು. 1919ರಲ್ಲಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಮಾಡಿದ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಮತ್ತೊಂದು ವಸ್ತುವನ್ನು ಕೃತಕವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿಸುವ ಸಾಹಸವು ಪ್ರಪ್ರಥಮವಾಗಿ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ಸಾಧಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಆ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ a- ಕಣಗಳನ್ನು ಸಾರಜನಕದ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸುವುದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾಯಿತು. ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಇದೊಂದು ಪ್ರಮುಖ ಘಟನೆಯಾಯಿತು. ಅಲ್ಲಿಂದೀಚೆಗೆ, ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆಯು ಒಂದು ಮಾಮೂಲು ಪ್ರಯೋಗವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿದೆ. ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ರಚನೆಯ ಮಾರ್ಪಾಡಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟುವು.

1932ರಲ್ಲಿ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಒಂದು ಹೊಸ ಕಣದ ಉದ್ಭವವಾಯಿತು. ಇದರ ವಿಶೇಷವೇನೆಂದರೆ, ಇದು ವಿದ್ಯುತ್‌ಶೂನ್ಯವಾದ ಕಣವಾಗಿದ್ದು, ಅದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದುದು. ಈಗ ನಮಗೆ ತಿಳಿದುಬಂದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಕಣಗಳಲ್ಲಿ ಇದೂ ಒಂದು. ಅಂದರೆ, ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ವಿವಿಧ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಿಂದಲೇ, ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಪಾತ್ರವನ್ನೂ ಅರಿತಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುವ ಕಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಾತ್ರವೆಂಬ ಅಂಶವು ಖಚಿತವಾದಮೇಲೆ, 1939ರಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ ಮುಂತಾದ ಕೆಲವು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಗೊತ್ತಾದಂತಾಯಿತು. ಮಂದವೇಗದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಮಾಡಿದರೆ, ಆ ಬೀಜವು ಭೇದಿಸಿ, ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮನಾಗಿರುವ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳುಳ್ಳ ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳು ಅಗಾಧವಾದ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೊಂದಿಗೆ ಕೆಲವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿದಲನ (atomic fission) ವೆಂದು ನಾಮಕರಣ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಸುಮಾರು **2**ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳ ಉಷ್ಣಾಂಶದ ಶಾಖವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. 1945ರಲ್ಲಿ ಇದನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ,

ಅಮೆರಿಕ ದೇಶವು ಜಪಾನಿನ ಎರಡು ದೊಡ್ಡ ಪಟ್ಟಣಗಳ ಮೇಲೆ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬುಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಮಾಡಿ ಅವುಗಳನ್ನು ನಿರ್ನಾಮವಾಗಿ ಬೂದಿಮಾಡಿತು. ತಾತ್ತ್ವಿಕವಾಗಿ ಇದರಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ : ವಸ್ತುವು ತನ್ನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಸ್ವಲ್ಪಭಾಗವನ್ನು ಕಳೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರ ನಿರ್ಮೂಲನ (annihilation) ದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು ಪ್ರಮಾಣವು ಅಗಾಧ ವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುತ್ತದೆ.

$$E = Mc^2 . \qquad \ldots \quad 8.1$$

ಈ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪಷ್ಟುಗೆ ಬಿಡುಗಡೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಈ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿನಾಶಕಾರಕ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲದೆ, ಮಾನವ ಶ್ರೇಯಸ್ಸಿಗೆ ಉಪಯೋಗವಾಗುವಂತೆ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕಾರಿ (Nuclear Reactors) ಗಳು ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತಿವೆ. ಈ ಯಂತ್ರಗಳಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯ ಉತ್ಪಾದನೆ, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (radio-active isotopes) ಗಳ ನಿರ್ಮಾಣ ಮುಂತಾದ ನೂರಾರು ಉಪಯೋಗಗಳು ಮಾನವನ ಹಿತಕ್ಕಾಗಿ ಸಾಧಿಸಲ್ಪಡುತ್ತಿವೆ.

ಹಗುರ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವುದರಿಂದಲೂ, ಈ ಸಂಯೋಗ (fusion) ವು ಕೂಡ ಅಪಾರ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟಿದೆ. ಇದೂ ಒಂದು ಅತಿಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಧಾನವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿ ಇದರ ವಿಷಯದಲ್ಲಿಯೂ, ವ್ಯಾಪಕವಾಗಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಿವೆ.

ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಎಲ್ಲ ವಿಷಯಗಳನ್ನೂ ಗಣನೆಗೆ ತಂದುಕೊಂಡರೆ, ನಮಗೆ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಸ್ವರೂಪವು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಈ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೇ ನಾದರೂ, ಬೇರೆ ವಿಧದ ಕಣಗಳೂ ಇವೆಯೇ ಎಂಬ ವಿಷಯದಲ್ಲಿಯೂ ಕೆಲವು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ವಿಚಾರಗಳು ಗೊತ್ತಾಗಿವೆ. ಕಾಸ್ಮಿಕ್ (ವಿಶ್ವ) ಕಿರಣಗಳು, ಮೀಸಾನ್ (mesons) ಗಳು ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಬಗೆಯ ವಿಚಿತ್ರ ಕಿರಣಗಳ ವಿಷಯಗಳೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ವಿವಿಧ ಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಪರಸ್ಪರ ವಿನಿಮಯ ಬಲಗಳ (exchange forces) ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಮುಂದುವರೆಯುತ್ತಿವೆ.

ಈ ಎಲ್ಲ ಅಂಶಗಳಿಗೂ ಒಂದು ಹೊಸ ದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು (new look) ಕೊಟ್ಟು ನಮ್ಮ ಚಿತ್ರದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನೇ ಮಾರ್ಪಾಡುಮಾಡಲು, ದ್ರವ್ಯ-ಅಲೆಗಳನ್ನು ಸಮನ್ವಯಗೊಳಿಸತಕ್ಕ ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರವನ್ನೂ ಮರೆಹೋಗುವುದು ಆವಶ್ಯಕವಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತದೆ.

8.2 ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆ

1896ರಲ್ಲಿ ಬೆಕ್ಕರಲ್ ಎಂಬ ಫ್ರೆಂಚ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು (1852–1908) ಪ್ರದೀಪ್ತಿ (fluorescence) ಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಕೆಲವು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ನಡೆಸುತ್ತಿದ್ದಾಗ, ಯುರೇನಿಯಂ ಒಳಗೊಂಡಿದ್ದ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಿಶೇಷ ಲಕ್ಷಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು. ಇವುಗಳಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ ಒಂದು ಅವ್ಯಕ್ತ ವಿಕಿರಣದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ, ಒಂದು ಸಂಪೂರ್ಣ ಕತ್ತಲು ಕೋಣೆಯಲ್ಲಿ ಮೇಜಿನ ಒಂದು ಅರೆ (drawer) ಯೊಳಗೆ ಹಲವಾರು ಪದರಗಳ ಕಪ್ಪು ಕಾಗದದಿಂದ ಮುಚ್ಚಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದ ಛಾಯಾಚಿತ್ರದ ಫಲಕಗಳು (photographic plate) ಕಲಗೆಟ್ಟು ಹೋಗಿ ವ್ಯರ್ಥವಾದುವು. ಅಂದರೆ, ಆ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಟ ಯಾವುದೋ ವಿಧವಾದ ತೀಕ್ಷ್ಣ ಕಿರಣಗಳು ಕತ್ತಲಿನಲ್ಲಿಯೂ ಆ ಕಪ್ಪುಕಾಗದದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು, ಫಲಕಗಳನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿರಬೇಕು ಎಂದು ಅರ್ಥವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಮೊದಲು ಬೆಕ್ಕರಲ್ ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು. ಇದೇ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೇ ಥೋರಿಯಂ ಮತ್ತು ಇತರ ವಸ್ತುಗಳೂ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದ್ದರಿಂದ, ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳೆಂದು ನಾಮಕರಣ ಮಾಡಲಾಯಿತು. 1898ರಲ್ಲಿ ಪಿಚ್‌ಬ್ಲೆಂಡ್ (pitch-blende) ಎಂಬ ಲೋಹದ ಅದರನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡು, ಮೇರಿ ಕ್ಯೂರಿ (M.Curie) (1867–1936) ಮತ್ತು ಆಕೆಯ ಪತಿ ಪಿಯರ್ ಕ್ಯೂರಿ (1859-1906), ಅದರಿಂದ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಪೋಲೋನಿಯಂ ಮತ್ತು ನಂತರ ರೇಡಿಯಂ (radium) ಎಂಬ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಭಾವಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿದರು. ಹಲವು ಟನ್ ತೂಕದ ಅದರಿನಿಂದ, ಕೆಲವು ಮಿಲಿಗ್ರಾಂ ಮಾತ್ರ ತೂಕದ ರೇಡಿಯಂ ಕ್ಲೋರೈಡ್ ವಸ್ತುವನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಆ ದಂಪತಿಗಳು ಭಿನ್ನಾಂಶಸ್ಫಟೀಕರಣದ (fractional crystallization) ವಿಧಾನದಿಂದ ನಡೆಸಿದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಅವರ ಅಸಾಧಾರಣ ತಾಳ್ಮೆ, ಕುಶಲತೆ ಮತ್ತು ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಪ್ರತಿಭೆಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದ ಸಾಕ್ಷಿಯಾಗಿ ನಿಂತಿವೆ. ಹೀಗೆ ಸಫಲರಾಗಿ ಅವರು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿದ ರೇಡಿಯಂ ವಸ್ತುವು ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳಿಗಿಂತ ಅಗಾಧವಾದ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಪರಿಶ್ರಮಕ್ಕಾಗಿ ಆ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳಿಗೆ 1903ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವು ದೊರೆತಿದ್ದು ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿಯೇ ಇದೆ.

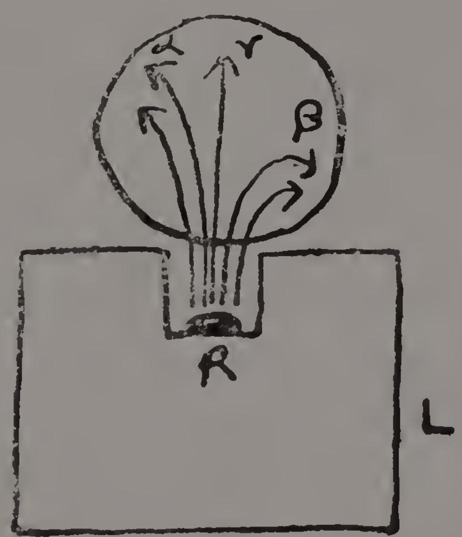
(i) $\alpha-\beta-\gamma$ ಕಿರಣಗಳು

ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳ ಗುಣಗಳನ್ನೂ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೂ ಪತ್ತೆಹಚ್ಚುವುದರಲ್ಲಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್

(1871-1837) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಬಹಳ ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದ್ದಾನೆ. ಈ ಕಿರಣಗಳು ಮೂರು ಬಗೆಯಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳನ್ನು α, β, γ ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. α- ಕಿರಣಗಳು ಹೀಲಿಯಂ ಅನಿಲದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಕಣ. ಇದರ ಪ್ರಮಾಣಾಂಶ (Mass Number) ಸಂಖ್ಯೆ 4 ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ 2 (Atomic Number). ಅಂದರೆ, ಇದರ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶ +2e. ಇದನ್ನು $_2He^4$ ಎಂಬ ಸಂಕೇತದಿಂದ ಸೂಚಿಸಲಾಗಿದೆ. β-ಕಿರಣವೆಂದರೆ, ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಸಮೀಪಿಸುವ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುವ –e ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ γ ಕಿರಣವೆಂದರೆ X–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಅತಿತೀಕ್ಷ್ಣ ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವಿದ್ಯುತ್ಕಾಂತೀಯ ವಿಕಿರಣಶಕ್ತಿ (electro-magnetic radiation).

ಈ ಎಲ್ಲ ಕಿರಣಗಳಿಗೂ ಕೆಲವು ಸಾಮಾನ್ಯ ಲಕ್ಷಣಗಳೂ, ಕೆಲವು ಭಿನ್ನಗುಣಗಳೂ ಇರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

α, β ಕಿರಣಗಳು ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಬಾಗುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, γ–ಕಿರಣಗಳು ಈ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಿಂದ ಮಾರ್ಗಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಹೊಂದುವುದಿಲ್ಲ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. L ಎಂಬ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಸೀಸದ ಗಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ



ಚಿತ್ರ 8.1 α, β, γ ಕಿರಣಗಳು

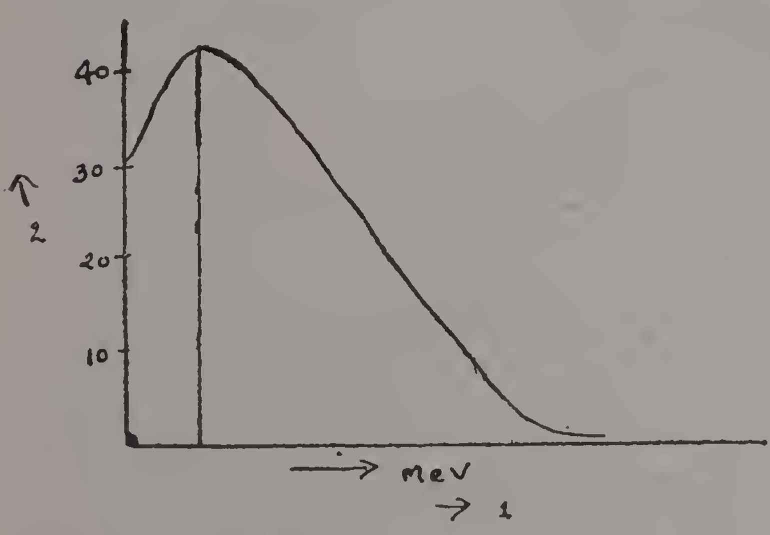
ಒಂದು ಸಣ್ಣ ರಂಧ್ರವನ್ನು ಕೊರೆದು ಅದರಲ್ಲಿ R ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಸ್ತುವನ್ನು ಇಡಲಾಗಿದೆ. ಇದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳನ್ನು H ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಹೊರ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಪ್ರಬಲವಾದ ವಿದ್ಯುತ್ಕ್ಷೇತ್ರಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿಸುತ್ತದೆ. ಆಗ, ಯಾವ ಮಾರ್ಗಪಲ್ಲಟವೂ ಇಲ್ಲದೆ, ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ನೆಟ್ಟಗೆ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳೇ γ–ಕಿರಣಗಳು. ಒಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಬಾಗಿರುವ ಕಣಗಳ

ಸಮೂಹವು α – ಕಿರಣಗಳನ್ನೂ, ಮತ್ತೊಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದಲ್ಲಿ ಬಾಗಿರುವ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವು β – ಕಿರಣಗಳನ್ನೂ ತೋರಿಸುತ್ತದೆ.

ಈ ಮೂರು ಬಗೆಯ ಕಿರಣಗಳೂ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಕ (ionizing agents) ಗುಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಅನಿಲಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಅವುಗಳ ಪರಮಾಣು ಗಳನ್ನು ಭೇದಿಸಿ, ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳ ಅಯಾನ್ (ions) ಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಬೇರ್ಪಡಿಸುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಈ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಬೇರೆಯಾಗಿ ರುತ್ತವೆ. γ-ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 1 ಆದರೆ, β-ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 100, ಮತ್ತು α–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 10,000 ಆಗಿಯೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನು ತೂರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ (penetrating power) α–ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದು 1 ಆದರೆ, β ಗೆ 100 ಮತ್ತು γ–ಕಿರಣ ಗಳಿಗೆ 10,000 ಆಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ತಟ್ಟೆಯ ಮೇಲೆ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿ, ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಸ್ಫುರಣ ಗಣಕಗಳನ್ನು (scintillation counters) ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ. ಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಸ್ತುಗಳ ಸಮೀಪ ದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪ್ರದೀಪ್ತಿ ತೆರೆ (fluorescent screen) ಯನ್ನು ಇಟ್ಟು ಅದರ ಮೇಲೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸ್ಫುರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು α–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗೆ ಅನುಗುಣ ವಾಗಿರುವುದನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು.

β-ಕಿರಣಗಳು ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ, ಅವುಗಳ ವೇಗ ಗಳು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿದ್ದು ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಹಂಚಿ ಕೊಂಡು ಒಂದು ವರ್ಣ ಪಟಲದ ಮಾದರಿ (β–ray spectrum) ಯಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರ (8.2) ರಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. α–ಕಿರಣಗಳೆಲ್ಲವೂ ಸುಮಾರಾಗಿ ಒಂದೇ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ β-ಕಿರಣ ಗಳು ಮಾತ್ರ ಹಲವಾರು ಪ್ರಮಾಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ತೋರಿಸುತ್ತವೆ.



ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಶಕ್ತಿ Mev

ಚಿತ್ರ 8.2 β–ಕಿರಣಗಳು

β-ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವಾಗ, ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (neutrino) ಎಂಬ ಮತ್ತೊಂದು ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಣವೂ ಹೊರಬೀಳುವುದೆಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗಿದೆ. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಯಾವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಇಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಅಥವಾ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯಿಂದ β-ಕಣವು ಉದ್ಭವಿಸುವುದೆಂದು ತಿಳಿಯಲಾಗಿದೆ.

γ-ಕಿರಣಗಳು X–ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಕಡಮೆ ತರಂಗಾಂತರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚು. a, β ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದರಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜವು ಒಂದು ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಸ್ವಲ್ಪ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು γ-ಕಿರಣದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರದೂಡುತ್ತದೆ. ಈ γ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳೂ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

(ii) **ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಶ್ರೇಣಿಗಳು** (Radio-active series)

ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ a. β, γ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದರಿಂದ ಅದರ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗಿ, ಹೊಸ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳು ನಿರಂತರವಾಗಿಯೂ, ಅನಿಯಂತ್ರಿತವಾಗಿಯೂ ಬದಲಾಗುತ್ತಲೇ ಇವೆ. ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತುಗಳೂ ಕೂಡ ಇದೇ ವಿಧವಾಗಿಯೇ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಒಂದು ಮೂಲವಸ್ತು (ಮಾತೃ, mother) ವಿನಿಂದ ಹಲವಾರು ದುಹಿತೃ (daughter) ವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಇವುಗಳೇ ಒಂದು ವಂಶವೃಕ್ಷವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ವಂಶಾವಳಿಯಲ್ಲಿ ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳು ವಿವಿಧ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಕೆಲವು ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಹಲವು ಸೆಕೆಂಡುಗಳಷ್ಟು ಮಾತ್ರ ಆಯುಸ್ಸಿದ್ದರೆ, ಮತ್ತೆ ಕೆಲವಕ್ಕೆ ಸಾವಿರಾರು ವರ್ಷಗಳ ಜೀವಮಾನಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಅಪಾರ ವೈವಿಧ್ಯದಿಂದ ಯಾವುದೇ ಒಂದು ಸಮಯದಲ್ಲಿ ನಾವು ಈ ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಅಳೆಯುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ ಚರಿತ್ರೆಯನ್ನೇ ಬರೆಯಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ವಿಶದಪಡಿಸಬಹುದು.

ಯುರೇನಿಯಂ ಮೂಲ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವನ್ನು $_{92}u^{238}$ ಎಂದು ಗುರುತಿಸಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಒಂದು a-ಕಿರಣ ($_2He^4$)ವು ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಉಳಿಯುವ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ $238-4=234$. ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ $(92-2=90)$. ಅಂದರೆ ಈ ಪರಮಾಣುವು $_{90}Th^{234}$ ಆಗುತ್ತದೆ.

$$\text{ಅಂದರೆ} \quad _{92}u^{238} \xrightarrow[a]{} {}_2He^4 + {}_{90}Th^{234} \left(ux_1 \right) \qquad \cdots \quad 8.2$$

ಇಂಥ ಸಮೀಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕು. ಮೇಲ್ಭಾಗದ ಬಲಗಡೆಯಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿರುವ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (mass number) ಗಳಾಗಿದ್ದು ಎರಡು ಕಡೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಇವು ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಸಮನವಾಗಿರಬೇಕು. ಹಾಗೆಯೇ, ಎಡಗಡೆ ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ಮೊತ್ತವೂ ಎರಡು ಕಡೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು.

ಈಗ ಈ ವಸ್ತುಗಳ ಜೀವಮಾನ ಕಾಲವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಅರ್ಧಜೀವಿತಕಾಲ ಎಂಬ (half-life) ಒಂದು ಮಾನವನ್ನು ಇಟ್ಟುಕೊಳ್ಳಲಾಗಿದೆ.

ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವನ್ನೇ ಉದಾಹಣೆಯಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅದರಲ್ಲಿ ಯಾವುದೋ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸಮಯದಲ್ಲಿ N_o ಪರಮಾಣುಗಳಿದ್ದರೆ, ಇದು ನಿರಂತರವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದರಿಂದ ಸ್ವಲ್ಪಕಾಲ T ನಂತರ ಮೂಲವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ $\frac{N_o}{2}$ ಆಗಿದ್ದರೆ, T= ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲ ಎಂದು ಹೆಸರು. ಹೀಗೆ ಕ್ಷಯಿಸುತ್ತಿರುವ (disintegration) ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ದರವನ್ನು ತಿಳಿಸಲು ಒಂದು ನಿಯಮವಿದೆ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.

$$N = N_o . \epsilon^{-\lambda t} \quad \ldots \quad 8.3$$

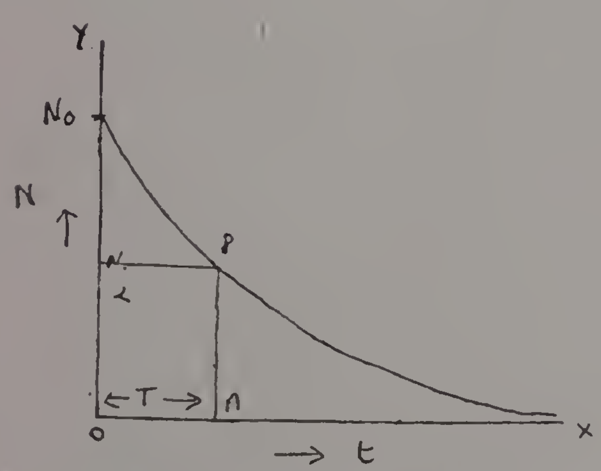
t=T ಆದರೆ, (ಅರ್ಧಜೀವಿತ ಕಾಲ)

$$\frac{N_o}{2} = N_o . \epsilon^{-\lambda T}$$

$$\lambda T = 0.693$$

$$T = \frac{0.693}{\lambda} \quad \ldots \quad 8.4$$

ಇಲ್ಲಿ λ= ಕ್ಷಯ ಗುಣಾಂಕ (decay constant) T= ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲ



ಚಿತ್ರ 8.3 ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಕ್ಷಯ

ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯದ ದರದ ರೀತಿಯನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. OA=T ಆದಾಗ $N=\frac{N_o}{2}$ ಆಗಿ, ಅದನ್ನೇ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲವನ್ನಾಗಿ ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಇದೇ ಸೂತ್ರವೇ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳ ಕ್ಷಯದ ದರಕ್ಕೂ (rate of decay) ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ.

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ $_{92}u^{238}$ ಗೆ ಅರ್ಧಜೀವಿತ ಕಾಲ $= 4.5 \times 10^9$ ವರ್ಷಗಳು. $_{90}ux_1{}^{234}$ ಗೆ, $T = 24.1$ ದಿವಸಗಳು.

β – ಕಿರಣವು ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಆಗುವ ಮಾರ್ಪಾಡನ್ನು ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಇದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಸಮನಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇದು ವಿದ್ಯುದಂಶವು – e ಆಗಿದ್ದು ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅದನ್ನು $_{-1}\beta^0$ ಎಂದು ಸೂಚಿಸುತ್ತೇವೆ.

$$_{90}Th^{234} \xrightarrow[\beta]{h} {}_{-1}\beta^0 + {}_{91}Pa^{234} \text{ (ಪ್ರೋಟಾಕ್ಟಿನಿಯಂ)} \quad \ldots \quad 8.5$$

ಒಂದು ವಿದ್ಯುದಂಶ (– e) ವು ಹೊರಬೀಳುವುದರಿಂದ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶವು 91 ಆದಂತೆ ಆಗುತ್ತದೆ. ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮಾತ್ರ ಬದಲಾವಣೆಯಾಗುವುದಿಲ್ಲ.

ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳನ್ನು ಮೂಲವಸ್ತುಗಳ ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕ (periodic table) ಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿದರೆ, a-ಕಿರಣದ ವಿಸರ್ಜನೆಯಿಂದ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ 2 ಕಡಮೆಯಾಗಿ, ಹೊಸ ವಸ್ತುವು ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಸ್ಥಾನಗಳು ಹಿಂದಕ್ಕೆ ಸರಿಯಬೇಕು. ಅಂದರೆ, Th ಪರಮಾಣುವು u ಪರಮಾಣುವಿನ ಎಡಕ್ಕೆ ಎರಡು ಸ್ಥಾನಗಳ ಹಿಂದಿರುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆಯೇ $_{90}Th^{234}$ ನಿಂದ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಹೊಸ ವಸ್ತುವು $_{91}Pa^{234}$ ಆಗಿ, Th ಗೆ ಒಂದು ಸ್ಥಾನ ಬಲಕ್ಕೆ ಸರಿಯುತ್ತದೆ. ಇದೊಂದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ನಿಯಮ.

$_{92}iu^{238}$ ನಿಂದ ಆರಂಭವಾದ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯೆಯು ಮುಂದುವರೆಯುತ್ತ ಹೋಗಿ, ಕೊನೆಯಾಗಿ (ಸೀಸ) $_{82}Pb^{206}$ ಪರಮಾಣುವಾಗಿ ನಿಲ್ಲುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ಇದು ಸುಭದ್ರ (stable) ಪರಮಾಣುವಾಗಿ ಮುಂದಕ್ಕೆ ವಂಶವೃದ್ಧಿಯಿಲ್ಲ. ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಶ್ರೇಣಿಯಲ್ಲಿರುವ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳೂ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲಗಳೇ. ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಿಂದ ಇವರ ವಿವರಗಳು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ.

ಯುರೇನಿಯಂ – ರೇಡಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿ

ಪರಮಾಣು	ಮೂಲವಸ್ತು	ಹಳೆಯ ಹೆಸರು	ಅರ್ಧಜೀವಿತ ಕಾಲ (T)	ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿ (Mev) a	β	γ
$_{92}u^{238}$	ಯುರೇನಿಯಂ	uI	4.5×10^9 ವರ್ಷ	4.18		
$_{90}Th^{234}$	ಥೋರಿಯಂ	uX_1	24.1 ದಿವಸ		0.1	0.09
$_{91}Pa^{234}$	ಪ್ರೋಟಾಕ್ಟಿನಿಯಂ	uX_2	1.18 ನಿಮಿಷ		2.32	0.8
$_{88}Ra^{226}$	ರೇಡಿಯಂ	ರೇಡಿಯಂ Ra	1620 ವರ್ಷ	4.79		
$_{86}Rn^{222}$	ರೇಡಾನ್	RaEm	3.8 ದಿವಸ	5.49		
$_{84}Po^{218}$	ಪೋಲೋನಿಯಂ	RaA	3.05 ನಿಮಿಷ	6.00		
$_{82}Pb^{206}$	ಸೀಸ	RaG	ಸುಭದ್ರ			

ಈ ಶ್ರೇಣಿಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳ ವಂಶವೃಕ್ಷಗಳಂತಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮೂರು ಮುಖ್ಯವಾದುವು : (1) ಯುರೇನಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿ(2) ಥೋರಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿ (3) ಆಕ್ಟಿನಿಯಂ ಶ್ರೇಣಿ. ಇವುಗಳಿಗೆ ಮೂಲವಸ್ತುಗಳು ಕ್ರಮವಾಗಿ $_{92}u^{238}$, $_{90}Th^{232}$ ಮತ್ತು $_{92}Ac^{235}$. ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯಕರವಾದ ವಿಷಯವೆಂದರೆ, ಇವುಗಳ ಅಂತಿಮ ಉತ್ಪನ್ನಗಳು (products) $_{82}RaG^{206}$, $_{82}ThD^{208}$ ಮತ್ತು $_{82}AcD^{207}$ ಗಳಾಗಿ, ಇವುಗಳು ಸುಭದ್ರವಾದ ಸೀಸಕ್ಕೆ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಾಗಿವೆ.

ಈ ಶ್ರೇಣಿಗಳಲ್ಲಿ ನಡುವಣ ವಸ್ತುಗಳೆಲ್ಲವೂ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲಗಳಾಗಿ, ಅವುಗಳ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳು ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡ್‌ನ ಅಲ್ಪ ಅಂಶದಿಂದ ಹಿಡಿದು, ಹತ್ತಾರು ಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳವರೆವಿಗೆ ಅಪಾರವಾದ ಅವಧಿಯ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ.

ವೈದ್ಯ ಮತ್ತು ಶಸ್ತ್ರಚಿಕಿತ್ಸೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ವಸ್ತುಗಳು ಬಹಳ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿವೆ. ಅವುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ γ – ಕಿರಣಗಳು X – ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ಅತ್ಯಧಿಕ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಚರ್ಮ ಸಂಬಂಧವಾದ ರೋಗಗಳಿಗೂ, ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ (cancer) ಎಂಬ ವ್ರಣ ಚಿಕಿತ್ಸೆಯಲ್ಲಿಯೂ ವಿಶೇಷ ಉಪಯೋಗಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ರೇಡಿಯಂ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಇದ್ದು ಅತಿ ದುಬಾರಿ ಬೆಲೆಯುಳ್ಳದ್ದಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಕೃತಕವಾಗಿ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲತ್ವವನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡಿರುವ ಹಲವು ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಮಾನ್ಯ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ Co^{60} ಬಹಳ ಪ್ರಸಿದ್ಧವಾದುದು.

ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಶಿಲೆಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆಯಿಂದ, ಅವುಗಳ ಪುರಾತನತ್ವವನ್ನು ಊಹಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. 1 ಗ್ರಾಂ ಯುರೇನಿಯಂ ತನ್ನ ಇತರ ಉತ್ಪನ್ನಗಳೊಂದಿಗೆ ಸಮಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ, ಅದರಿಂದ ಹೊರದೂಡಲ್ಪಟ್ಟ α – ಕಿರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿ $9 \cdot 7 \times 10^4$ ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ., ಈ ಹೀಲಿಯಂ ಅಷ್ಟೂ ಆ ಅದರಿನಲ್ಲಿಯೇ ಗ್ರಹಣವಾಗಿದ್ದ ಪಕ್ಷದಲ್ಲಿ (occluded), ಈಗ ಪರೀಕ್ಷಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಒಂದು ಶಿಲೆಯ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಹೀಲಿಯಂ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಇಡೀ ಶಿಲೆಯ ತೂಕ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೂ ಇರುವ ಅನುಪಾತ (ratio) ವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದರಿಂದ, ಆ ಶಿಲೆಯ ಆಯುಃಪ್ರಮಾಣದ ಅಂದಾಜನ್ನು ಮಾಡಬಹುದು. ಹೀಲಿಯಂನ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವು ಹೊರಗೆ ಹೋಗಿರಬಹುದಾದ್ದರಿಂದ ಈ ಅಂದಾಜವು ನಿಖರವಾಗಿರಲಾರದು. ಇಂಥ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಭೂಮಿಯ ಆಯುಸ್ಸನ್ನು ಸುಮಾರು 500 ಕೋಟಿ ವರ್ಷಗಳೆಂದು ಊಹಿಸಲಾಗಿದೆ. $_{6}C^{14}$ ಎಂಬ ವಸ್ತುವು ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಾದ ಒಂದು ಸಮಸ್ಥಾನಿ. ಇದು β - ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರದೂಡಿ, ಅದರ ಅರ್ಧಜೀವಿತ ಕಾಲವು ಸುಮಾರು 5570 ವರ್ಷಗಳೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿದೆ. ವಾಯುಮಂಡಲ

ದಲ್ಲಿರುವ ಸಾರಜನಕಕ್ಕೂ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವುದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುವ ಈ $_6C^{12}$ ಎಲ್ಲ ಜೀವಂತ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇದ್ದೇ ಇರಬೇಕು. ಆ ಜೀವ ರಾಶಿಗಳ ಪ್ರಾಣವು ಅಳಿದುಹೋದಾಗ ಅವುಗಳಿಗೂ ವಾಯುಮಂಡಲಕ್ಕೂ ಇರುವ ವಿನಿಮಯವು ನಿಂತು, $_6C^{12}$ ವಸ್ತುವಿನ ಪ್ರಮಾಣವು ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗ ಬೇಕು. ಈ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, ಸಾವಯವ (organic) ದ್ರವ್ಯವಸ್ತು ಗಳಲ್ಲಿ ಜೀವವು ಯಾವಾಗ ನಿಂತಿತು ಎಂಬ ವಿಷಯದ ಬಗ್ಗೆ ಲಿಬ್ಬಿ (Libby) ಎಂಬ ಶಾಸ್ತ್ರಜ್ಞನು ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಿದ್ದಾನೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದು ಭೂಗರ್ಭಶಾಸ್ತ್ರ ಮತ್ತು ಆದಿಮಾನವ ಶಾಸ್ತ್ರ (archaeology) ಗಳ ಬೆಳವಣಿಗೆಗೆ ಉತ್ತಮವಾದ ಸಾಧನ.

8.3 ಕೃತಕ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆ (Artificial transmutation)

ಇದುವರೆವಿಗೆ, ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ತೂಕದ ಪರಮಾಣು ಗಳಾದ ಥೋರಿಯಂ, ಯುರೇನಿಯಂ, ಸ್ವಯಂಸ್ಫೋಟಕಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ಅವು ಗಳಿಂದ α, β, γ ಎಂಬ ಮೂರು ವಿಧವಾದ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದರ ವಿಷಯ ವನ್ನು ತಿಳಿಸಿದ್ದಾಯಿತು. ಇದು ಅನಿಯಂತ್ರಿತವಾದ ಮತ್ತು ಯಾವ ರಾಸಾಯನಿಕ ಅಥವಾ ಭೌತ ಸಾಧನಗಳಿಂದಾಗಲಿ, ಮಾರ್ಪಾಡುಪಡಿಸಲಾಗದ ಒಂದು ವಿಶೇಷ ಗುಣ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ— ಆ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳು ಅಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದು, ವಿಕಿರಣದ ದೆಸೆಯಿಂದ ತಮ್ಮ ಸ್ವರೂಪಗಳನ್ನೇ ಮಾರ್ಪಾಡು ಮಾಡಿಕೊಂಡು, ನಿರಂತರವಾಗಿ ಹೊಸ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತಿವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯು ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದಾದ ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯ ನಿದರ್ಶನವಾಗಿದೆ.

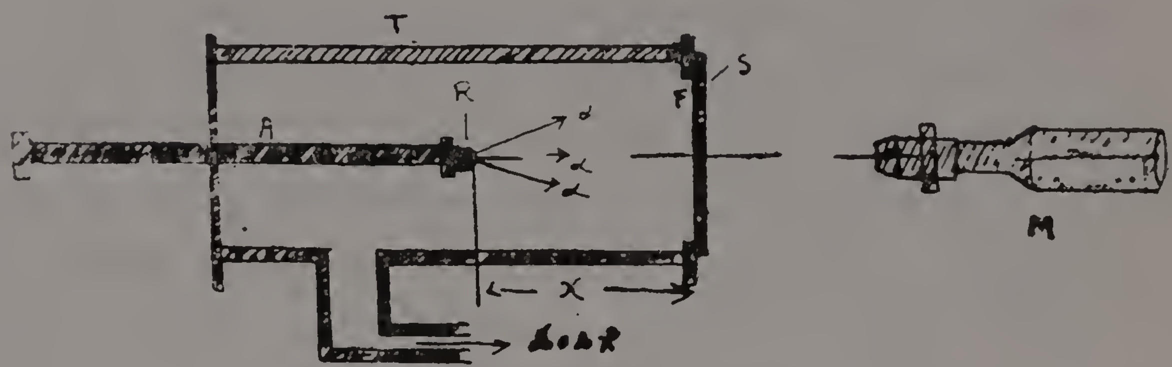
ಈಗ, ನಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಲಿ, ಎಷ್ಟೇ ಹಗುರವಾಗಿಯೂ, ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೂ ಕೂಡ, ಸೂಕ್ತವಾದ ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವ α-ಕಿರಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಮುಂತಾದ ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ ಕಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ, ಪರಿವರ್ತನೆಹೊಂದಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವೆಂಬುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಸಂದರ್ಭಗಳೂ ನಮ್ಮ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ನಿಬಂಧನೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳನ್ನು ಕೃತಕ, ನಿಯಂತ್ರಿತ, ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಪರಮಾಣು ವಿನ ಬೀಜದ ರಚನೆ, ಅದರ ಪರಿವರ್ತನೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ವಿಷಯಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಜ್ಞಾನದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಹಲವಾರು ಶತಮಾನಗಳಿಂದ, ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಚಿನ್ನಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಮಾಡುವ ಹಂಬಲವಿದ್ದ ಕನಸು ನನಸಾಗುವ ಕಾಲವು ಬಂದಿತು. ವಿಜ್ಞಾನದ

ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ಕ್ರಾಂತಿಕರವಾದ ಘಟನೆಯು ಸಂಭವಿಸಿ, ಹೊಸ ಅಧ್ಯಾಯವು ತೆರೆಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು.

ಇಂಥ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಪ್ರಪ್ರಥಮ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಸಾಧನೆಯನ್ನು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ಮಾಡಿದ ಕೀರ್ತಿಯು ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್‌ಗೆ ಸಲ್ಲತಕ್ಕದ್ದು. ಈತನು 1919 ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ, ಒಂದು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಸ್ತುವಾದ Rac′ ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ a-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಸಾರಜನಕದ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದನು. a- ಕಿರಣಗಳು ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣು ($_7N^{14}$) ವಿನೊಡನೆ, ನೇರವಾಗಿ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದಿದರ ಫಲವಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣಗಳು ($_1H^1$) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ, ಆಮ್ಲಜನಕವೂ ($_8O^{17}$) ಕೂಡ, ಈ ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಸಾರಜನಕದಿಂದ ಆಮ್ಲಜನಕವನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಿದಂತಾಯಿತು. ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಯು ಯಾವ ಸಾಮಾನ್ಯ ರಾಸಾಯನಿಕ ವಿಧಾನದಿಂದಲೂ ಸಾಧ್ಯವಾಗಲಾರದ ಕ್ರಿಯೆ. ಇದೇ ಒಂದು ಹೊಸ ರಾಸಾಯನಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಕ್ಕೆ ತಳಹದಿಯಾಯಿತು. ಇದರಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸುವ ಅಂಗಗಳು ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆಹೊಂದುವ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಣಗಳು a-ಕಣಗಳು, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮುಂತಾದುವು. ಇದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯವಾದುದರಿಂದ ಮೊದಲ ಪ್ರಯೋಗದ ಸ್ಥೂಲ ವಿಮರ್ಶೆಯು ಅತ್ಯಗತ್ಯವಾದುದು.

ಚಿತ್ರ (8.4) ರಲ್ಲಿ T ಎಂಬುದು ಒಂದು ಉದ್ದವಾದ ಗಾಜಿನ ನಾಳಿಕೆ. ಇದನ್ನು ಮೊದಲು ಸಂಪೂರ್ಣವಾಗಿ ನಿರ್ವಾತಮಾಡಿ ನಂತರ ಪಂಪಿನ ಮೂಲಕ ನಮಗೆ ಬೇಕಾದ ಅನಿಲವನ್ನು ಒಳಗೆ ಪ್ರವೇಶಮಾಡುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಮೊದಲ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಈ ಅನಿಲವು (G) ಸಾರಜನಕವಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ನಾಳಿಕೆಯ ಎಡಭಾಗದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ A ಎಂಬ ಉದ್ದವಾದ ಸರಳನ್ನು ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ ಒಳಕ್ಕೆ ತೂರಿಸಿ ಅದರ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ R ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ Rac′ ವಸ್ತುವಿನ ಸ್ವಲ್ಪಮಾದರಿ (sample) ಯನ್ನು ಇಡಲಾಗಿದೆ. ಇದರಿಂದಲೇ, ಅತಿವೇಗವಾಗಿ a-ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಬಲಭಾಗವನ್ನು S ಎಂಬ ಒಂದು ಪ್ರದೀಪ್ತಿ ತೆರೆ (fluorescent screen) ಯನ್ನು ಆಳವಡಿಸಿದೆ. ಇದರ ಒಳಭಾಗದಲ್ಲಿ F ಎಂಬ ಒಂದು ಅತಿ ತೆಳುವಾದ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಪರೆ (Aluminium foil) ಯನ್ನು ಜೋಡಿಸಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ a-ಕಿರಣಗಳು ವೇಗವಾಗಿ ಚಲಿಸುತ್ತ ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿರುವ ಅನಿಲ (N) ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಗಳ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವಂತೆ ಆಗಿ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆ

ಯನ್ನು ಮಾಡಲು S ತೆರೆಯ ಮೇಲೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು (scintillations) M ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದ ಮೂಲಕ ವೀಕ್ಷಿಸ



ಚಿತ್ರ 8.4 ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗ

ಬೇಕು. ಎಡಗಡೆಯಲ್ಲಿ p ಎಂಬ ಸರಳಿನ ತುದಿಯಲ್ಲಿ (R) ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಬಿಲ್ಲೆ ಇದೆ. ಅದರಲ್ಲಿ Rac^1 ಎಂಬ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಸುಮಾರು 8 Mev ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ವೇಗವಾದ α-ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರ (range) ವು ಸುಮಾರು 7 ಸೆಂ.ಮೀ. (ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿ) ಅಂದರೆ, ಇದರಿಂದಾಚೆಗೆ ಅವುಗಳ ಪ್ರಭಾವವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಸರಳನ್ನು ಹಿಂದಕ್ಕೂ ಮುಂದಕ್ಕೂ ನೂಕುವುದರ ಮೂಲಕ, R–F ನಡುವಣ ದೂರ (x) ವನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ನಾಳಿಕೆಯೊಳಗೆ ಅಡಗಿರುವ ಅನಿಲಗಳನ್ನು ಬದಲಾಯಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, ಅವುಗಳ ಮೇಲೆ α-ಕಿರಣಗಳ ಆಘಾತದ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಬಹುದು.

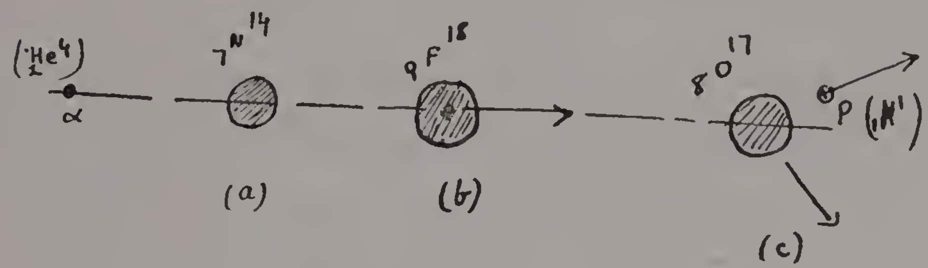
ನಾಳಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಮೊದಲು ಆಮ್ಲಜನಕ (O), ಇಂಗಾಲಾಮ್ಲ (CO_2) ಗಳನ್ನು ತುಂಬಿ, R–F ಗಳ ನಡುವಣ ದೂರ (x) ವು α-ಕಿರಣಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದಾಗ, S ತೆರೆಯಮೇಲೆ (ZnS ಲೇಪ) ಯಾವ ಸ್ಫುರಣಗಳೂ ಕಂಡು ಬರಲಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಸಾರಜನಕವನ್ನು ತುಂಬಿದಾಗ, R–F ಗಳ ನಡುವಣ ದೂರವನ್ನು 40 ಸೆಂ.ಮೀ. ಗಳಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಿಸಿದಾಗ್ಯೂ, ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದಿಂದ ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಬಹುದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಈ ಸಂಭವವು ಅತ್ಯಂತ ಅನಿರೀಕ್ಷಿತವಾದದ್ದು. ಸ್ಫುರಣಗಳು α-ಕಿರಣಗಳಿಂದ ಆಗುವಂತೆಯೇ ಇಲ್ಲ. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಅಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ದೂರ ಅವುಗಳ ಪ್ರಭಾವವು ವ್ಯಾಪಿಸುವಂತೆಯೇ ಇಲ್ಲ. ಅವುಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವನ್ನು ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಕೊಟ್ಟನು. ಅವನ ಪ್ರಕಾರ, α-ಕಿರಣಗಳು ಸಾರಜನಕ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜಗಳನ್ನು ನೇರವಾಗಿ ಆಘಾತ ಮಾಡುವುದರ ಫಲವಾಗಿ, ಆ ಬೀಜಗಳು ಪರಿವರ್ತನೆಹೊಂದಿ, ಅತಿ ಉದ್ದ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು, ಇವುಗಳು ತೆರೆಯಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನಮಾಡು

ತ್ತವೆ. ಈ ಕಣಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗುವ ಮಾರ್ಗ ಪಲ್ಲಟದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಿ, ಅವುಗಳನ್ನು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಅಥವಾ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಎಂದು ಸಾರಿದನು. ಜಲಜನಕದ ಅನಿಲದಲ್ಲಿ a-ಕಿರಣಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರವು 28 ಸೆಂ.ಮೀ. ಮಾತ್ರ. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬಂದ ದೂರವಾದ 40 ಸೆಂ.ಮೀ. ಸಾರಜನಕದೊಂದಿಗೆ ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ ಜಲಜನಕದ ಅನಿಲವು ಇರಬಹುದಾದರೂ, ಅದರಿಂದ ಈ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರವಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಇದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉದ್ಭವಿಸಿದ ಶಕ್ತಿಯುತ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೇ ಇರಬೇಕೆಂದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಸಾಧಿಸಿದನು.

ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಕೊಟ್ಟ ವಿವರಣೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು a–ಕಿರಣಗಳು ನೇರವಾಗಿ ಘರ್ಷಿಸಿ, ಅದರಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ. ಉಳಿಯುವ ವಸ್ತುವು ಆಮ್ಲಜನಕದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ ಪರಮಾಣುಬೀಜ. ಅಂದರೆ, ಈ ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಸಾರಜನಕವು ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿ, ಆಮ್ಲಜನಕವಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯ ಸಮೀಕರಣವು ಹೀಗಿದೆ :

$$_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1} \quad \ldots \quad 8.6$$

ಇದೇ ಪ್ರಪ್ರಥಮ ಕೃತಕ ವಸ್ತುಪರಿವರ್ತನೆ (Transmutation)



a = ಪೂರ್ವಭಾವಿ b = ಗ್ರಹಣ c = ಭೇದನ

ಚಿತ್ರ 8.5

$$_{2}He^{4} + {}_{7}N^{14} = {}_{9}F^{18} \rightarrow {}_{8}O^{17} + {}_{1}H^{1} \quad \ldots \quad 8.7$$

ಇದನ್ನು ಬಿಡಿಸಿದರೆ ಅರ್ಥ ಹೀಗಾಗುತ್ತದೆ. a–ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ 4, ವಿದ್ಯುದಂಶ 2, ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ 14, ವಿದ್ಯುದಂಶ 2–ಇವುಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯ ಫಲವಾಗಿ ಗ್ರಹಣವಾಗುತ್ತದೆ (capture). ಇದರಿಂದ ಒಂದೇ ಕಣವಾದ ಫ್ಲೋರೀನ್–ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ 18, ವಿದ್ಯುದಂಶ

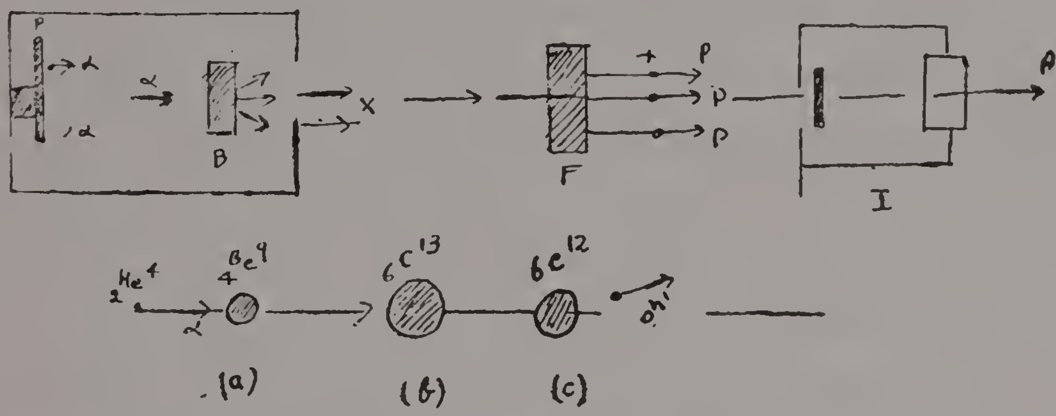
9 ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದು ಮಧ್ಯಸ್ಥ ಕಣವೇ ಹೊರತು ಇದು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರಯುಕ್ತ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ವಿದ್ಯುದಂಶ 1, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ 1 ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಶಕ್ತಿಯು 6 Mev ಇರುವುದು. ಈ ವಿಸರ್ಜನೆಯ ನಂತರ ಉಳಿಯುವ ಕಣವು $_8O^{17}$, ಆಮ್ಲಜನಕದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಭಾಗವಹಿಸುವ ಎರಡು ಕಣಗಳಾದ a ಕಣ ಮತ್ತು ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ಮೊತ್ತ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ = (14 + 4) = 18 ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಮೊತ್ತವು 2+7=9 ; ಘರ್ಷಣೆಯ ನಂತರ, ವಿಸರ್ಜಿತ ಕಣ ಮತ್ತು ಹಿಂದುಳಿಯುವ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳ ಮೊತ್ತವು (17+1)=18 ; ವಿದ್ಯುದಂಶ ಮೊತ್ತವು 1+8=9. ಹೀಗಾಗಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಸಮತೋಲನೆಯು ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ. ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸಮೀಕರಣವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು. ಇದು ಸ್ಥೂಲತತ್ತ್ವ. ಇನ್ನೂ ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ, ಸಮಗ್ರ ಸಮತೋಲನವನ್ನು ಕಾಣಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದಾದಮೇಲೆ, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್, ಚಾಡ್‌ವಿಕ್ ಸೊಂದಿಗೆ 1921–24 ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಬೋರಾನ್‌ನಿಂದ ಪೊಟಾಸಿಯಂವರೆವಿಗೆ ಅನೇಕ ಹಗುರ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೂ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ a– ಕಣಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ವಿಸರ್ಜನೆಯನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರು. ಘನವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವಾಗ, F ಎಂಬ ಅಲೂಮಿನಿಯಂಪರೆಗೆ ಬದಲಾಗಿ, ಅವುಗಳ ಪದರಗಳನ್ನೇ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುಗಳನ್ನಾಗಿಟ್ಟು R ತುದಿಯನ್ನು ಅದರ ಸಮೀಪಕ್ಕೆ ನೂಕಿ, ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರು, B, Na P ಮತ್ತು A l ಗಳನ್ನು ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುಗಳನ್ನಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದಾಗ, ವಿಸರ್ಜಿತ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ವ್ಯಾಪಕ ದೂರಗಳು ಕ್ರಮವಾಗಿ, 58, 58, 65 ಮತ್ತು 90 ಸೆಂ. ಮೀ. ಗಳಾಗಿದ್ದುವು. ಅಂದರೆ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಆಘಾತ ಮಾಡಿದ a–ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗಿಂತ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು, ಈ ಅಧಿಕಶಕ್ತಿಯು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯ ಫಲವೆಂದೇ ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು. 1925ರಲ್ಲಿ ಬ್ಲಾಕೆಟ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಸಾರಜನಕ, a– ಕಿರಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯ ಫಲವನ್ನು ಮೇಘಮಂದಿರ (cloud chamber) ಉಪಕಿರಣದಿಂದ ಬಹಳ ಸೊಗಸಾಗಿ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಿದನು. ಕಣಗಳ ಪಥಗಳ ಚಿತ್ರಗಳಿಂದ (Tracks) ಕಣಗಳ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಗುರುತು ಹಿಡಿಯುವುದು ಈ ಚಿತ್ರಗಳ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯ, ಪ್ರೋಟಾನ್, ಆಮ್ಲಜನಕದ ಕಣಗಳ ಪಥಗಳು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಗಿ ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲ್ಪಟ್ಟು, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ನಿಃಸಂಶಯವಾದ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರೆತಂತಾಯಿತು.

8.4 ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಪ್ರಯೋಗ–ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಉತ್ಪಾದನೆ

1932ನೇ ವರುಷವು ಭೌತವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದುದು. ಆ ವರ್ಷ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟದ್ದರಿಂದ ಅವನಿಗೆ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವು 1935ರಲ್ಲಿ ದೊರಕುವಂತಾಯಿತು. ಇದೂ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಸ್ಫೋಟನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗ. ಇದರಲ್ಲಿ ಬೆರಿಲಿಯಂ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಾಗಿದ್ದು ಅದರಮೇಲೆ α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಿ, ಆ ಘರ್ಷಣೆಯ ಫಲವಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ವಿಸರ್ಜಿತವಾಯಿತು. ಇದು ಒಂದು ಹೊಸಬಗೆಯ ಕಣ. ಇದು ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾಗಿದ್ದು ಅದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೆ ಸಮನಾದುದರಿಂದ ಅದರ ಸಂಕೇತವು $_0n^1$. ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಪ್ರಯೋಗದ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 8.6 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಉತ್ಪಾದನೆ

V ಎಂಬುದು ನಿರ್ವಾತಗೊಳಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಒಂದು ನಿಲಯು. ಅದರಲ್ಲಿ P ಎಂಬುದು α–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರದೂಡುವ ಪೊಲೋನಿಯಂ ವಸ್ತು. ಈ ಕಿರಣಗಳು B ಎಂಬ ಒಂದು ಬೆರಿಲಿಯಂ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನಮೇಲೆ ಆಘಾತವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಘರ್ಷಣೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ X– (ಅವ್ಯಕ್ತ) ಕಿರಣಗಳು ಬಹಳ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದುವೆಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಆದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು (F) ಒಂದು ಪಾರಫಿನ್ ಹಾಳೆ (sheet) ಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಲಾಯಿತು. ಇದಾದಮೇಲೆ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳನ್ನು (I) ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಯ ಮಂದಿರ (Ionization chamber) ಕ್ಕೆ ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿಸಿ, ಅವುಗಳನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸಲಾಯಿತು. ಅವ್ಯಕ್ತ ಕಣಗಳಿಗೆ ಯಾವ ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ ಇಲ್ಲವೆಂದು ವ್ಯಕ್ತವಾಯಿತು. ಕಾಂತೀಯ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಅವುಗಳ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಮಾಡಲಿಲ್ಲ. ಅವುಗಳನ್ನು ಸೀಸದ ಗ್ರಾಹಕ (lead absorbers)ಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೂ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಕುಂದಲಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವುಗಳು γ – ಕಿರಣಗಳೂ ಅಲ್ಲ ಎಂದು ಊಹಿಸಲಾಯಿತು.

ಈ ನವೀನ ಮಾದರಿಯ ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳನ್ನೂ ವೇಗವನ್ನೂ ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲು ಛಾಡ್‌ವಿಕ್ ಹೊಸಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಅವುಗಳನ್ನು ಪ್ರೋಟಾನ್, ಸಾರಜನಕ ಮುಂತಾದ ಕಣಗಳೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆಮಾಡಿಸಿದನು. ಇವುಗಳಿಂದ, ಆ ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು $1.15 M_H$ (M_H = ಪ್ರೋಟಾನ್ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ) ಎಂದೂ ವೇಗವು 3×10^9 ಸೆಂ. ಮೀ./ಸೆಕೆಂಡ್ ಎಂದೂ ಸ್ಪಷ್ಟವಾಯಿತು. ವಿದ್ಯುದಂಶ ರಹಿತವಾದ ಈ ಕಣವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು. ಈ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಮೀಕರಣವು ಹೀಗಿರುತ್ತದೆ :

$$_2He^4 + {}_4Be^9 = {}_6C^{13} \rightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1 \qquad \ldots \quad 8.8$$

ಇದರಲ್ಲಿಯೂ, ಘರ್ಷಣೆಯ ಮೊದಲ ಪರಿಣಾಮವು ಗ್ರಹಣ (capture) ಅಂದರೆ ಒಂದೇ ಸಂಯುಕ್ತ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕಣ. ಇದು ಅಭದ್ರವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ, ಆಸ್ಫೋಟಿಸಿ, ಇದರಿಂದ ವೇಗವಾದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ವಿಸರ್ಜಿತ ವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರ (8.6) ರಲ್ಲಿ ನಿದರ್ಶಿಸಿದೆ.

ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, ಈ (–X–) ಕಣಗಳು ಪಾರಫಿನ್ ಫಲಕದಲ್ಲಿರುವ ಜಲಜನಕ ಪರಮಾಣುಗಳೊಂದಿಗೆ ಸ್ಥಿತಿಸ್ಥಾಪಕ ಘರ್ಷಣೆಗಳನ್ನು (elastic collisions) ಹೊಂದಿ ಅವುಗಳೊಂದಿಗೆ ಶಕ್ತಿವಿನಿಮಯಮಾಡಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳು ಬಹಳ ಸಮೀಪವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಕಣವು ತಡೆಯಲ್ಪಟ್ಟು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುವುದರಿಂದ, ಇದು I ನಿಲಯವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿ, ಅದರಲ್ಲಿ ಉಂಟುಮಾಡುವ ಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು ಶಕ್ತಿವರ್ಧಕ (amplifier) (A) ದಿಂದ ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಬಹುದು.

ಮೇಲಿನ ಪ್ರಯೋಗದ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಬೆರಿಲಿಯಂಗೆ ಬದಲಾಗಿ, Li, B, Mg. ಮುಂತಾದ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಲಕ್ಷ್ಯಗಳನ್ನಾಗಿಟ್ಟು ಅವುಗಳ ಮೇಲೆ a –ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಯೋಗಮಾಡಿದ ಫಲವಾಗಿಯೂ, ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಕಣಗಳು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲಾಯಿತು.

ಈ ಪ್ರಧಾನ ಪ್ರಯೋಗದ ನಂತರ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಗುಣ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುಲು ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರೆಸಲಾಯಿತು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲು, ಹಗುರ ವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ a –ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಘರ್ಷಣೆಗೊಳಿಸುವ ವಿಧಾನವೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಡ್ಯೂಟೆರಾನ್ (ಜಲಜನಕದ ಸಮಸ್ಥಾನಿ) ಕಣವೂ($_1D^2$)ಉಪಯುಕ್ತವಾದುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಉದಾಹರಣೆಯನ್ನು ಕೆಳಗೆತೋರಿಸಿದೆ.

$$_3Li^7 + {}_1D^2 \rightarrow {}_4Be^8 + {}_0n^1 \qquad \ldots \quad 8.9$$

ಇದರಲ್ಲಿ ಬರುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು 4 – 25Mev ಅವಧಿಯಲ್ಲಿರಬಹುದು.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಇತರ ಉಪಯೋಗಗಳು

(i) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ವಸ್ತುಗಳ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸುವುದರಿಂದ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ.

$$_{7}N^{14} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{5}Be^{11} + {}_{2}He^{4} \qquad \ldots \quad 8.10$$

ಇದರಲ್ಲಿ α–ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ.

ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವ ಕಣಗಳು ತೀವ್ರವೇಗ ವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು.

(ii) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿಲ್ಲದೆ ಇರುವುದು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಗುಣ. ಏಕೆಂದರೆ, ಇವುಗಳು ನೇರವಾಗಿ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆ ಯಾಗುವಾಗ, ಯಾವ ವಿದ್ಯುತ್ ಬಲಗಳೂ ಇಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳೊಡನೆ ಗ್ರಹಣವಾಗಿ ಐಕ್ಯವಾಗುತ್ತವೆ.

(iii) 1939ರಲ್ಲಿ ಮತ್ತು ಮುಂದಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ (Fermi) ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಯುರೇನಿಯಂನಂಥ ಭಾರ ವಾದ ಅಭದ್ರ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದೊಳಗೆ ಹೊಕ್ಕು ಅದನ್ನು ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಮಾಡಿಸು ತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಆ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು ಎರಡು ಸಮಾನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸ ಲ್ಪಟ್ಟು ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಇದಲ್ಲದೆ ಎರಡು ಅಥವಾ ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯೇ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವಿದಲನ (Nuclear Fission). ಇದರಲ್ಲಿ ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರ ಬೀಳುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಪ್ರಪಂಚದ ಪ್ರಥಮ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿ ಜಪಾನಿನ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಪಟ್ಟಣ ಹಿರೋಷಿಮಾ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು ಅದನ್ನು 1945ರಲ್ಲಿ ನಿರ್ನಾಮ ಮಾಡಿತು.

(iv) ಈಗ ತಿಳಿದಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳು ವಿವಿಧ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟು ಗೂಡಿರುತ್ತವೆ.

8.5 ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳ ತತ್ತ್ವ–ದ್ರವ್ಯಾಂಶ-ಶಕ್ತಿಗಳ ಸಮಾನತೆ (Mass - Energy Equivalence Principle)

ಈಗ ಮೇಲೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು, ನಾವು ಉಪಯೋಗಿಸಿರುವ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಹಿಂದಿನ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಭಾಗ ವಹಿಸುವ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳ ರಚನೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಬದಲಾವಣೆಯುಂಟಾಗಿ ಅವು ಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳು ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ ನಾವು ಕ್ಷಿಪಣಿ (missiles) ಗಳಂತೆ ಪ್ರಯೋಗಿಸುವ ಕಣಗಳಿಗೂ ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಿನ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಮೀಕರಣಗಳ ಎರಡು ಕಡೆಗಳನ್ನೂ ನಾವು ಸಮತೂಗಿಸುವಾಗ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ಇವುಗಳೆರಡನ್ನೂ ಒಳಗೊಂಡಂತೆ, ಶಕ್ತಿಯ ನಿತ್ಯತ್ವ (conservation of energy) ದ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕು. ಹೀಗೆ ಮಾಡುವಾಗ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (M) ಕ್ಕೂ ಅದರ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿ (E) ಗೂ ಸಂಬಂಧಿಸುವ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣ ವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಇದರ ರೂಪವು ಹೀಗಿದೆ :

$$E = Mc^2.$$

$M = 1$ Kg ಆದರೆ, $c = 3 \times 10^8$ ಮೀಟರ್/ಸೆಕೆಂಡ್

$E = 9 \times 10^{16}$ ಜೂಲ್‌ಗಳು

ಅಂದರೆ, 1 ಗ್ರಾಂ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು ನಿರ್ಮೂಲವಮಾಡಿದರೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು

9×10^{13} ಜೂಲ್‌ಗಳು.

1 a.m.u. = 1 ಪರಮಾಣು ದ್ರವ್ಯಾಂಶಮಾನ $= 1.66 \times 10^{-24}$ ಗ್ರಾಂ.

1 m.e.v. = 1 ಮಿಲಿಯನ್ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್ $= 1.6 \times 10^{-13}$ ಜೂಲ್.

ಆದ್ದರಿಂದ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣದ ಅನ್ವಯ ಮಾಡಿದರೆ

$$1 \text{ a.m.u.} = \frac{1.66 \times 10^{-24} \times 9 \times 10^{13}}{1.6 \times 10^{-13}} \text{ M.e.v}$$

$$= \underline{931} \text{ M.ev (ಸುಮಾರು)} \qquad \ldots \quad 8.11$$

ಇದನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಿಂದ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು ಶಕ್ತಿಯಂತೆಯೂ, ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ದ್ರವ್ಯಾಂಶದಂತೆಯೂ ಗಣನೆ ಮಾಡುವುದು ಸುಲಭವಾಗುತ್ತದೆ.

ಉದಾಹರಣೆಗೆ, M_0 ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ತೆಗೆದು ಕೊಳ್ಳೋಣ. ಇದರ ಮೇಲೆ M_1 ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಒಂದು ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣವು E_1 ಶಕ್ತಿ

ಯನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿಸೋಣ. ಈ ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ M_2 ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಬೇರೆ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಅದರ ಶಕ್ತಿಯು E_2 ಆಗಿಯೂ, M_3 ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಕಣವು E_3 ಶಕ್ತಿಯಿಂದಲೂ ಹೊರಬಿದ್ದರೆ, ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ M_0 ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು ಸ್ಥಾಯಿಯಾಗಿದ್ದು ಅದಕ್ಕೆ ಬಾಹ್ಯ ಶಕ್ತಿ ಇಲ್ಲ ಎಂದೇ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ನಮ್ಮ ಸಮೀಕರಣದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಬೇಕು. ಹೀಗೆ ಮಾಡಿದರೆ,

$$M_0 + (M_1 + E_1) = (M_2 + E_2) + (M_3 + E_3) \quad \ldots \quad 8.12$$

ಇಲ್ಲಿ, E_1, E_2, E_3 ಗಳು ಆಯಾ ಕಣಗಳ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯೆಂದು ತಿಳಿಯಬೇಕು.

M_0, M_1, M_2, M_3 ಗಳನ್ನು ಅವುಗಳ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಗಳಿಗೆ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಪರಿವರ್ತಿಸಿದರೆ, ಎರಡು ಕಡೆಗಳ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಲೆಕ್ಕ ಮಾಡಬಹುದು.

ಬರೀ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ,

$$(M_0 + M_1) - (M_2 + M_3) = (E_2 + E_3 - E_1) = Q \quad \ldots \quad 8.13$$

ಇಲ್ಲಿ Q = ಪರಮಾಣು ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆ ಶಕ್ತಿ (nuclear reaction energy). ಇದು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದುದು. Q ಎಂಬುದು ಧನ ಪ್ರಮಾಣವಾದರೆ, ಈ ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಶಕ್ತಿಯು ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತದೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಮೂಲ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಮತ್ತು ಕ್ಷಿಪಣಿಗಳ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಸ್ವಲ್ಪ ಭಾಗವು ನಿರ್ಮೂಲವಾಗಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಶಕ್ತಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತದೆ. ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ $(M_2 + M_3) > (M_0 + M_1)$ ಆಗಿ, Q ಪ್ರಮಾಣವು ಋಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯ ಗ್ರಹಣ (absorbed) ವಾಗಿ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಈ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಯ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯ.

ಈಗ, ಇದನ್ನು ಎರಡು ಉದಾಹರಣೆಗಳಿಂದ ಸ್ಪಷ್ಟಪಡಿಸಬಹುದು.

ಮೊದಲು, ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್ ಪ್ರಯೋಗದ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಮಾಡಬಹುದು.

$${}_7N^{14} + {}_2He^4 \rightarrow {}_8O^{17} + {}_7H^1 + Q \quad \ldots \quad 8.14$$

ಎಂದು ಬರೆಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, $_7N^{14}$ ಎಂಬುದು ಸಾರಜನಕದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ.

ಇದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (Mass number) = 14 . ವಿದ್ಯುದಂಶ = 7. ಈಗ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶಕ್ಕೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಗಮನಿಸಬೇಕು. ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಎಂದರೆ, ಆ ಕಣದ ಒಟ್ಟು ಪರಮಾಣು ತೂಕ. ಇದನ್ನು (A). ಎಂದು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ತಿಳಿಸುತ್ತೇವೆ. ಇದು ಪೂರ್ಣಾಂಕವಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳ ವಾಸ್ತವ ತೂಕಗಳನ್ನು ಕೊಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಸಾಧಾರಣವಾಗಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಇದು ಪೂರ್ಣಾಂಕಕ್ಕೆ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚು ಕಡಮೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಆ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಅತಿ ಸಮೀಪದ ಪೂರ್ಣಾಂಕವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದನ್ನು (M) ಅಥವಾ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (Mass number) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ. ಈ ಸಣ್ಣ ವ್ಯತ್ಯಾಸದ ನಿಜವಾದ ಅರ್ಥವನ್ನು ಮುಂದೆ ತಿಳಿಸಿದೆ.

ಪ್ರಕೃತ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ.

ಸಾರಜನಕ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ	$_7N^{14}$	(ದ್ರವ್ಯಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ = 14)	ಪರಮಾಣುತೂಕ	$M_0 = 14.00753$
α – ಕಿರಣ - - -	$_2He^4$ –	(ದ್ರವ್ಯಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ = 4)		$M_1 = 4.00386$
ಆಮ್ಲಜನಕ - -	$_8O^{17}$ –	(,, —— = 17)		$M_2 = 17.00450$
ಪ್ರೋಟಾನ್ - -	$_1H^1$	(,, —— = 1)		$M_3 = 1.00813$

$$M_0 + M_1 = 18.01139$$

$$(M_2 + M_3) = 18.01263$$

$$Q = (M_0 + M_1) - (M_2 + M_3) = -0.00124 \text{ a. m. u.}$$

ಮೇಲಿನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು a. m. u. ಮಾನದಲ್ಲಿವೆ.

$$1 \text{ a.m.u.} = 931 \text{ Me.v.}$$

$$\therefore \quad Q = -0.00124 \times 931$$

$$= -1.16 \text{ Mev} \qquad .. \quad 8.15$$

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಶಕ್ತಿಯು ಋಣವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಇದು ಗ್ರಹಣವಾಗಿರಬೇಕು. ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ವಿವಿಧಕಣಗಳ ಚಲನಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳತೆಮಾಡಿ,

$(E_2 + E_3 - E_1) = Q'$ ಆದರೆ,

Q' ಪ್ರಮಾಣವು ಮೇಲೆ ಲೆಕ್ಕಮಾಡಿದ Q ಗೆ ಅತಿ ಸಮೀಪವಾಗಿದ್ದುದರಿಂದ ನಮ್ಮ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯಾದಂತಾಯಿತು. ಇದು ಶಕ್ತಿಗ್ರಹಣಕ್ರಿಯೆ (endo-thermic)ಯನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ.

ಕಾಕ್‌ಕ್ರಾಫ್ಟ್ ಮತ್ತು ವಾಲ್ಟನ್ 1932ರಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಲಿಥಿಯಂ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಮೇಲೆ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಅದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ. 8.6 mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎರಡು a– ಕಿರಣಗಳು ರಭಸದಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾದುವು, ಇದರ ಸಮೀಕರಣವು ಹೀಗಿದೆ.

$$ {}_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow 2 \quad {}_2He^4 + Q \qquad \ldots \quad 8.16 $$

ಎಡಗಡೆ,

$$ {}_3Li^7 \text{ ಯ } M_0 = 7.01816 \text{ a. m. u.} $$
$$ {}_1H^1 \quad ,, \quad M_1 = 1.00813 \quad ,, $$
$$ M_0 + M_1 = 8.02629 $$

ಬಲಗಡೆ,

$$ {}_2He^4 = 2 \times 4.00386 = 8.00772 $$
$$ \therefore \; Q = (8.02629 - 8.00772) = +\; 0.01857 \text{ a. m. u.} $$
$$ = +17.29 \text{ M.e.v.} \qquad \ldots \quad 8.17 $$

ಇಲ್ಲಿ $Q = +17.29$ M.e.v.

ಪ್ರಯೋಗದ ಅಳತೆಗಳಿಂದ $Q^1 = +17.2$ Mev.

ಅಂದರೆ, ಇದರಿಂದಲೂ, ನಮ್ಮ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆಯಾದಂತಾಯಿತು. ಹೀಗೆಯೇ, ನೂರಾರು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳೂ ನಮ್ಮ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಂಪೂರ್ಣ ಸಮರ್ಥನೆ ಕೊಟ್ಟಿವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳೆಲ್ಲವೂ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ-ಶಕ್ತಿಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೆಗೂ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮಾನತ್ವ ಸಮೀಕರಣಕ್ಕೂ ನಿದರ್ಶನಗಳಾಗಿವೆ.

8.6 **ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಸಾಧನಗಳು** (Accelerators)

ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ವಸ್ತುವನ್ನೂ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು ಅದರ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ನೇರವಾಗಿ ಮಾಡಲು ಬೇಕಾದ ಸೂಕ್ತಕ್ಷಿಪಣಿಯನ್ನು ಮೊದಲು ಚುನಾಯಿಸಬೇಕು. ನಂತರ ಅದಕ್ಕೆ ಪ್ರಬಲವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೊಡಲು, ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಸಾಧನೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಬೇಕು. ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ತ್ರಿಜ್ಯ ಗಾತ್ರವು ಸುಮಾರು 10^{-12} ಸೆಂ. ಮೀ. ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ಇರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನು ದಾಟಿ ಒಳಹೊಗಬೇಕಾದರೆ, ಕ್ಷಿಪಣಿಕಣವು ಅತಿಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ್ದಾಗಿದ್ದು, ಅದಕ್ಕೆ ಅಪಾರವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಬೇಕು. ಈ ಕಣಗಳು ಬಹಳ ಸಂಖ್ಯಾಕವಾಗಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದೊಡನೆ ನೇರಘರ್ಷಣೆಮಾಡಿ ಅವನ್ನು ಭೇದಿಸುವ ಸಂಭವವು ಅತ್ಯಂತ ಕಡಿಮೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಅಲ್ಪ ಸಂಭವ

ನಿಯತತೆಯಿಂದ ಸಫಲವಾಗುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಲು (detectors) ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಉಪಕರಣಗಳು ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಮತ್ತೊಂದು ಸಮಸ್ಯೆಯು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರುವ ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ತಡೆಯನ್ನು ವಿರೋಧಿಸಬೇಕಾದುದು. a-ಕಣಗಳು, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಡ್ಯೂಟರಾನ್ (a, p,. d) ಕಣಗಳೆಲ್ಲಕ್ಕೂ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುವುದರಿಂದ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರದಿಂದ ಅಪಕರ್ಷಣ (repulsion) ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು (n) ಪ್ರಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಈ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರದ ತೊಂದರೆ ಬರುವುದಿಲ್ಲ. ಅವುಗಳು ನೇರವಾಗಿ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ಒಳಹೊಕ್ಕು ಗ್ರಹಣವಾಗುವ ಸಂಭವವು ಹೆಚ್ಚು.

ಇಷ್ಟೆಲ್ಲ ಆದರೂ, ನಿಜವಾಗಿಯೂ ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ಭೇದನ (disintegration) ಕ್ರಿಯೆಯು ಸಫಲವಾಗಿದೆಯೇ, ಹಾಗಾದರೆ, ನಾವು ವೀಕ್ಷಿಸುವ ಪರಿಣಾಮಗಳು ಅದರಿಂದ ಉಂಟಾಗಿವೆಯೋ ಎಂಬುದನ್ನು ಖಚಿತವಾಗಿ ತಿಳಿಯುವುದು ಕ್ಲಿಷ್ಟವಾದ ಕೆಲಸ. ನಾವು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಕ್ಷಿಪಣಿ ಕಣಗಳು ಎರಡು ಬಗೆಯಾಗಿರಬಹುದು :

(i) ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಕಾರಕ (Natural agent), ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು. a- ಕಿರಣಗಳು ಮತ್ತು γ- ಕಿರಣಗಳು = $a-\gamma$ ಕಿರಣಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತವೆ.

(ii) ಕೃತಕ ಕಾರಕಗಳು (Artificial agents), ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಡ್ಯೂಟಿರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು– (n, p, d, e-).

1930 ರಲ್ಲಿ ರಥರ್‌ಫೋರ್ಡ್ ನೇತೃತ್ವದಲ್ಲಿ, ಕಾಕ್‌ರಾಫ್ಟ್ ಮತ್ತು ವಾಲ್ಟನ್ (Cockroft and Walton) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಕೇಂಬ್ರಿಜ್ ಸಂಶೋಧನಾಲಯದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬೃಹತ್‌ಯಂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದರು. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಉದ್ದೇಶ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಒಂದು ಭಾರಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಪಡಿಸಿ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಿ, ನಂತರ ಅವುಗಳನ್ನು ಲಿಥಿಯಂ ಲೋಹದ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿ, ಆ ಕ್ರಿಯೆಯ ಪರಿಣಾಮವನ್ನು ಪರೀಕ್ಷಿಸುವುದು.

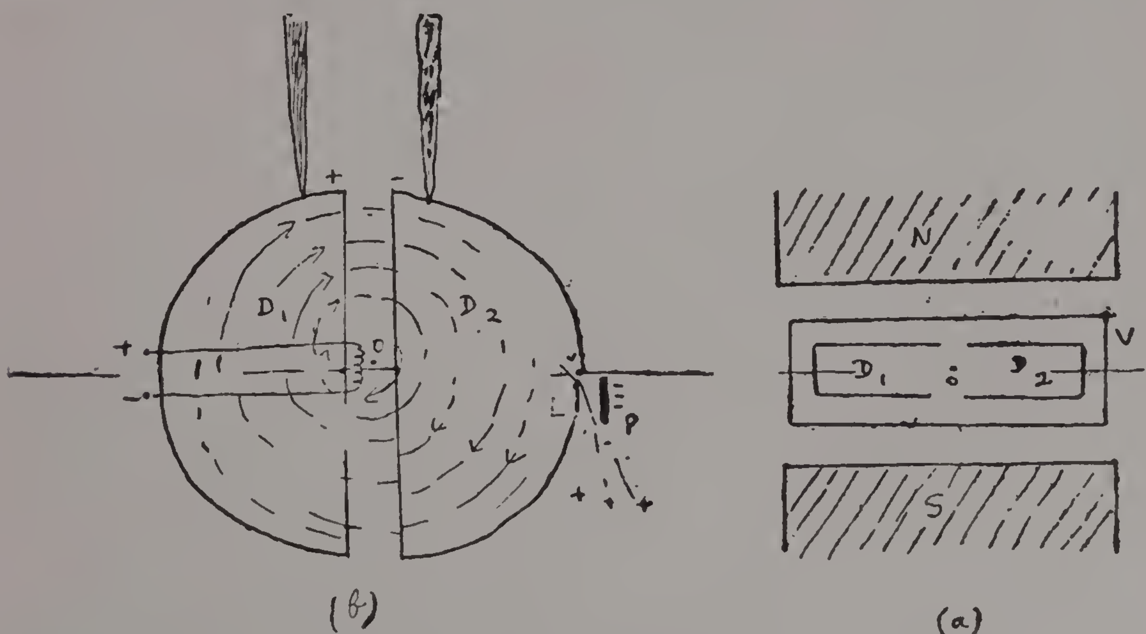
ಪ್ರೋಟಾನ್ ತುಪಾಕಿ (Proton-gun) ಯಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು 150,000 ವೋಲ್ಟ್ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಹಾಯಿಸಿ, ಅವುಗಳಿಗೆ 0.15 M.e.v. ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವುದು. ಇವುಗಳು ಅನಾಳಿಕೆಯಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದು

ಲಿಥಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜವನ್ನು ಹೊಕ್ಕು ಭೇದಿಸಿದಾಗ, ಎರಡು α- ಕಣಗಳು ($_2He^4$) ಅತಿ ರಭಸದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಹೀಗೆ ಉತ್ಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 17 M.e.v. ಇರುತ್ತದೆ. ಇಷ್ಟು ಅಧಿಕ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರಬೇಕಾದರೆ, ಸ್ವಲ್ಪಭಾಗದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ನಿರ್ಮೂಲವಾಗಿರಬೇಕು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಹಿಂದೆಯೇ ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ ತೋರಿಸಿದೆ.

$$_1H^1 + {}_3Li^7 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + Q$$

ಸೈಕ್ಲಟ್ರಾನ್ (Cyclotron)

ಇದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಅಮೆರಿಕದಲ್ಲಿ ಲಾರೆನ್ಸ್ (Lawrence–1901-1958) ಎಂಬ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಮತ್ತೊಂದು ಹೊಸಮಾದರಿಯ 'ಪರಮಾಣು ಯಂತ್ರ ತುಪಾಕಿ' (Atomic Machine gun)- ಯನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸುತ್ತಿದ್ದನು. ಇದರಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪ್ರೋಟಾನ್, ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಮುಂತಾದ ಕಣಗಳನ್ನು ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡಿಸಿ, ಅದರ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ಅತಿಶೀಘ್ರವಾಗಿ ವಿಸ್ತರಿಸುವ ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಈ ವರ್ತುಲ ಚಲನೆಯಿಂದ ಈ ಯಂತ್ರಕ್ಕೆ ಸೈಕ್ಲಟ್ರಾನ್ ಎಂದು ಹೆಸರಾಯಿತು. ಇದರ ಉಪಯುಕ್ತತೆಯು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿದ್ದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಸಹಾಯವಾಯಿತು. ಈ ಮುಖ್ಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಾಗಿ ಲಾರೆನ್ಸ್ 1939 ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವನ್ನು ಪಡೆದನು.



ಚಿತ್ರ 8.7 ಸೈಕ್ಲಟ್ರಾನ್

ಈ ಯಂತ್ರದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು. ಮೊಟ್ಟ ಮೊದಲು ಕಾಲಿಫೋರ್ನಿಯದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಾಣವಾದ ಯಂತ್ರವನ್ನು "60 ಅಂಗುಲ"

ಉಪಕರಣವೆಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು. ಇದರಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ 10, 20, 40 Mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲಾಯಿತು.

ಚಿತ್ರ (a) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, ಈ ಯಂತ್ರದ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ V ಎಂಬ ವಾತಶೂನ್ಯ ಮಂದಿರದಲ್ಲಿ D_1D_2 (dees) ಗಳೆಂಬ ಒಂದೇ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯ ಎರಡು ಸಮಭಾಗದ ಟೊಳ್ಳು ಹೋಳುಗಳನ್ನು ಇರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ಆಕೃತಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಇವುಗಳನ್ನು 'ಡೀ' ಗಳೆಂದೇ ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತದ ಎರಡು ಧ್ರುವ (NS) ಗಳ ನಡುವೆ ಸ್ಥಾಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಈ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತವನ್ನು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಆಂದೋಳಕ ವಿದ್ಯುತ್‌ಜನಕಕ್ಕೆ (H. F. A. C. generator) ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರದ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಸುಮಾರು 10,000 ಆಗಿಯೂ, ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯು 10^7 (ಆವರ್ತಗಳು/ಸೆಕೆಂಡ್) ಇರಬಹುದು.

(V) ವಾತಶೂನ್ಯ ಮಂದಿರದೊಳಗೆ ಸ್ವಲ್ಪ ಜಲಜನಕ ಅನಿಲವನ್ನು ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡಿಸಿ, (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, F ತಂತುವಿನ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಶಾಖ ವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳು ಜಲಜನಕವನ್ನು ಅಯನೀಕರಿಸುತ್ತವೆ (ionization). ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೇ ಮುಂದಕ್ಕೆ ವೇಗವಾಹಿನಿಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಈಗ ಒಂದು ಸಮಯದಲ್ಲಿ D_1 + ಆಗಿಯೂ, D_2 (—) ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, O ಬಿಂದುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು D_2 ಹೋಳಿನ ಕಡೆಗೆ (—) ಆಕರ್ಷಿತವಾಗುತ್ತದೆ. ಅಲ್ಲಿ ಇರುವ ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಈ ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಒಂದು ಅರ್ಧ ವೃತ್ತವನ್ನು ಪೂರೈಸಿ ಬರುವ ಹೊತ್ತಿಗೆ ಸರಿಯಾಗಿ D_2 (+) ಆಗಿಯೂ, D_1 (—) ಆಗಿಯೂ, ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಹೀಗಿರುವಂತೆ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಸೂಕ್ತ ವಿಧಾನಗಳಿಂದ ಆಳವಡಿಸಿರುತ್ತವೆ. ಇದೇ ಈ ಪ್ರಯೋಗದ ಮುಖ್ಯ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯ. ಅಂದರೆ, D_1 D_2 ಗಳ ನಡುವೆ ಇರುವ ಪರ್ಯಾಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಆವರ್ತಕಾಲದ ಅರ್ಧ ($\frac{1}{2}$T) ಕಾಲಕ್ಕೆ ಸರಿಯಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅರ್ಧ ವೃತ್ತವನ್ನು ಸರಿಯಾಗಿ ರಚಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು, D_1D_2 ಗಳ ನಡುವೆ ಬಂದ ಕ್ಷಣವೇ D_1 ಕಡೆ ವೇಗದಿಂದ ಪ್ರವೇಶಿಸಿ, ಅಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ದೊಡ್ಡ ತ್ರಿಜ್ಯದ ಅರ್ಧವೃತ್ತವನ್ನು ರಚಿಸಿ, ಅದನ್ನು ಮುಗಿಸಿ ಹೊರಬೀಳುವುದಕ್ಕೆ ಸರಿಯಾಗಿ ಮತ್ತೆ D_1 (+) ಮತ್ತು D_2 (—) ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ D_2 ವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿ, ವಿಸ್ತರಿಸಿದ ವೃತ್ತದಲ್ಲಿ ಸುತ್ತುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ವಿಸ್ತರಿಸುತ್ತಿರುವ ಹಲವಾರು ತ್ರಿಜ್ಯಗಳ ವೃತ್ತಗಳನ್ನು ಎರಡು ಹೋಳುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಪೂರೈಸಿ,

ಕೊನೆಯದಾಗಿ D_2 ಯ ಅಂಚನ್ನು ತಲಪಿ, W ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ದ್ವಾರ (window) ದ ಮೂಲಕ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಹೊರಬೀಳುವ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣ ಸಮೂಹವು ಅತ್ಯಧಿಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಭೇದನವನ್ನು ಮಾಡಲು ಶಕ್ತವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಚಿತ್ರ (b) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ, W ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣ ಸಮೂಹವನ್ನು ನೇರವಾಗಿ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವನ್ನು ಮುಟ್ಟುವಂತೆ ಮಾರ್ಗನಿರ್ದೇಶನ ಮಾಡಲು P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಧ್ರುವವು ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಈ ಧ್ರುವದ ವೋಲ್ಟೇಜ್ ಸುಮಾರು 60,000 V ಆಗಿರಬೇಕು. ಈ ಯಂತ್ರದ ಬೃಹತ್ ಗಾತ್ರದ ಅಂದಾಜನ್ನು ತಿಳಿಯ ಬೇಕಾದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತದ ಧ್ರುವಗಳ ವ್ಯಾಸವು 60 ಅಂಗುಲಗಳು. ಒಟ್ಟು ತೂಕವು ಸುಮಾರು 200 ಟನ್‌ಗಳು. ಇದಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಹಲವಾರು ದಪ್ಪ ತಾಮ್ರ ತಂತಿಯ ಸುರಳಿಗಳನ್ನು ದೊಡ್ಡ ಶೀತಕ ಆವರಣ ತೊಟ್ಟಿಗಳಲ್ಲಿಡಬೇಕಾಗಿದ್ದಿತು. ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಶಕ್ತಿ ಸುಮಾರು 15,000 ಗಾಸ್.

ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶವು e ಆಗಿದ್ದು, ಅದರ ಮಾರ್ಗಕ್ಕೆ ಲಂಬ ವಾಗಿರುವ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವು H ಆಗಿಯೂ, ಅದು ಚಲಿಸುವ ವೃತ್ತದ ತ್ರಿಜ್ಯವು r ಆಗಿಯೂ, ಆ ಕಣದ ವೇಗವು v ಆಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ, [M = ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ]

$$He\,v = \frac{Mv^2}{r}$$

$$r = \frac{Mv}{He} \qquad \ldots \quad 8.18$$

ಒಂದು ಅರ್ಧ ವೃತ್ತವನ್ನು ರಚಿಸುವ ಕಾಲವು t ಆದರೆ,

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi M}{He} \qquad \ldots \quad 8.19$$

ವಿದ್ಯುತ್‌ಕ್ಷೇತ್ರದ ಆವರ್ತಕಾಲ T ಆದರೆ, $t = \frac{T}{2}$

ಮೇಲಿನ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ಎರಡು D ಗಳಲ್ಲಿಯೂ ವರ್ತುಲ ಚಲನೆಗಳನ್ನು ವಿವಿಧ ತ್ರಿಜ್ಯಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದರೂ, ಅದಕ್ಕೆ ತಗಲುವ ಕಾಲವು ಒಂದೇ (t). ಇದು r ಮತ್ತು vಗಳನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುವುದಿಲ್ಲ.

ಹಲವಾರು ತ್ರಿಜ್ಯಗಳ ವಿಸ್ತರಿಸುವ ವೃತ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಿ, ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ, ಆ ತ್ರಿಜ್ಯವು R (ಸುಮಾರಾಗಿ D_1, D_2ಗಳ ತ್ರಿಜ್ಯವಾಗಿಯೇ ಇರುತ್ತದೆ) ಆದರೆ, ಅದರ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯು

$$w = \tfrac{1}{2}Mv^2 = \frac{H^2e^2R^2}{2M} \qquad \ldots \quad 8.20$$

H, R ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಿದಷ್ಟೂ, W ಪ್ರಮಾಣವು ವೃದ್ಧಿಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ, 1939ರಲ್ಲಿ ಲಾರೆನ್ಸ್ ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡಿದ ಬೃಹತ್ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ 8 M e v ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ 16 M e v ಡ್ಯೂಟರಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ, 38 Me v a– ಕಣಗಳನ್ನೂ ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.

ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಯಂತ್ರಗಳ ಹಲವು ಮಾದರಿಗಳು

1946ರಲ್ಲಿ ಲಾರೆನ್ಸ್ ಒಂದು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಸಿಂಕ್ರೋಸೈಕ ಟ್ರಾನ್, (Synchrocyclotron) ಎಂಬ ಪ್ರಭಾವಶಾಲಿಯಾದ ಯಂತ್ರವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಕಣಗಳ ವೇಗಗಳನ್ನು ವೃದ್ಧಿ ಮಾಡಿಸಿದಷ್ಟೂ, ಅವುಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ M ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಅದಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತದ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಬದಲಾಯಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ನಿಯಂತ್ರಣವನ್ನು (frequency modulation) ಸರಿತೂಗಿಸುವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಬೇಕು. ಹೊಸ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದೇ D ಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು 350 Mev ಇಂದ 700 Mev ವರೆವಿಗೂ ಏರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.

ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, "ಪ್ರೇರೇಪಕ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ" (Induction Accelerators) ಅಥವಾ ಬೀಟಾ ಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಯಂತ್ರವನ್ನು 1941ರಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರಲ್ಲಿ 500 Mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಮೂಲಕ ತಾಮ್ರದಿಂದ ನಿಕ್ಕಲ್ ಪರಿವರ್ತನೆಯನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸ ಲಾಯಿತು.

ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸಿಂಕ್ರೊಟ್ರಾನ್ (proton synchrotron) ಯಂತ್ರವನ್ನೂ ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಇದರಿಂದ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು 750 Mev ಮತ್ತು 1,000 Mev ವರೆವಿಗೂ ಹೆಚ್ಚಿಸಬಹುದಾಯಿತು.

ಇದಾದನಂತರ, 1955 ರಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಲೀಫೋರ್ನಿಯದಲ್ಲಿ ಬೀವ-ಟ್ರಾನ್ (Beva-tron) ಯಂತ್ರದ ನಿರ್ಮಾಣವಾಯಿತು. ಇದರಲ್ಲಿ ಕಣಗಳ ಅಂತಿಮಶಕ್ತಿ 6 Bev ಅಥವಾ 6000 Mev [1 Bev = 1000 Mev] ಇನ್ನೂ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಗತಿ ಹೊಂದಿದಮೇಲೆ 25 Bev ಯಂತ್ರಗಳು ಬಳಕೆಗೆ ಬಂದುವು. ಜನಿವದಲ್ಲಿರುವ ಯಂತ್ರದ ಉತ್ಪಾದನಾಶಕ್ತಿ 28 Bev (ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು).

ಇದೇ ಅಲ್ಲದೆ ರೇಖೀಯ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ (linear accelerators)ಗಳೂ ನಿರ್ಮಾಣವಾಗಿವೆ. ಸ್ಟಾನ್‌ಫರ್ಡ್ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದಲ್ಲಿರುವ ಒಂದು ರಾಕ್ಷಸ

ಯಂತ್ರದ ಗಾತ್ರವು ಹೀಗಿದೆ. ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯ ಕೊಳವೆಯ ಉದ್ದ = 220 ಅಡಿ. ಇದರ ಉದ್ದಕ್ಕೂ 10 ಅಡಿಗಳ ಅಂತರದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾಪಿಸಲಾಗಿರುವ ಜನಕ ಯಂತ್ರ (generators) ಗಳಿಂದ 2 ಕೋಟಿ ವಾಟ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸುತ್ತಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಅಂತಿಮ ಶಕ್ತಿಯು 600 Mev ಆಗಿರುವುದು.

ಈ ಸಿಂಹಾವಲೋಕನದಿಂದ ತಿಳಿಯಬರುವ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ :–ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಭೇದನವನ್ನು ಸಾಧಿಸಲು ಶಕ್ತವಾಗಿರುವ ಸಣ್ಣ ಕಣಗಳ (p, d, α,–) ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವೃದ್ಧಿಮಾಡಲು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡುವ ಯಂತ್ರಗಳು ಬೃಹತ್ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿಯೂ, ಕೋಟ್ಯಾಂತರ ರೂಪಾಯಿಗಳ ವೆಚ್ಚವನ್ನು ಮುಟ್ಟಿಸುವಂತಿದ್ದು, ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಬೇಕಾದ ತಾಂತ್ರಿಕ ಕುಶಲತೆಯೂ (technological skill) ಅಪಾರವಾಗಿ ಪ್ರಗತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತಿದೆ.

8.7 ವೀಕ್ಷಕ ಸಾಧನಗಳು (Detectors)

ಇದುವರೆವಿಗೂ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಸ್ಫೋಟನಕ್ಕೆ ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಯುತ ಗಣಗಳಿಗೆ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಸಾಧನಗಳಿಂದ ಅತ್ಯಧಿಕ ಶಕ್ತಿ (ಅಂದರೆ–ಕೆಲವು Bev) ಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುವಂಥ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಯಂತ್ರಗಳ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಪರಿಶೀಲನೆ ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಈಗ, ಪರಮಾಣುಬೀಜದಮೇಲೆ ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಣಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಸ್ತು ಮತ್ತು ಕಣಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಬೇಕಾದ ವೀಕ್ಷಕ ಉಪಕರಣಗಳ ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ಪರಿಚಯ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಒಂದು ಹೊಸ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜವೂ, ಅತಿವೇಗದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಈ ಕಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್ α-ಕಣಗಳು, r-ಕಿರಣಗಳು ಮುಂತಾದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ವಿಧದಲ್ಲಿರಬಹುದು. ಆದುದರಿಂದ, ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ಹೊಸ ಪರಮಾಣುವಿನ ಸ್ವರೂಪವನ್ನೂ, ಸಣ್ಣ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳತೆ ಮಾಡುವ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ರಚಿಸಬೇಕು. ಇವುಗಳು ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಅಳತೆಗಳನ್ನು ಮಾಡಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳನ್ನು ನಿಖರವಾಗಿ ನಿಶ್ಚಯಿಸುವವರೆವಿಗೂ, ಪರಮಾಣು ಕ್ರಿಯೆಯ ಪೂರ್ಣ ಅರ್ಥವನ್ನು ತಿಳಿದಂತಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಬಹು ಪಾಲು ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಣಗಳೆಲ್ಲವೂ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿಯೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೂ ಪ್ರೋಟಾನ್, ಡ್ಯೂಟರಾನ್, α–ಕಣಗಳು, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಗಳು, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಈ ರೂಪವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶ ಇದ್ದರೂ, ಅವುಗಳನ್ನು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮುಂತಾದ ಕಣಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆಮಾಡುವುದರಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು.

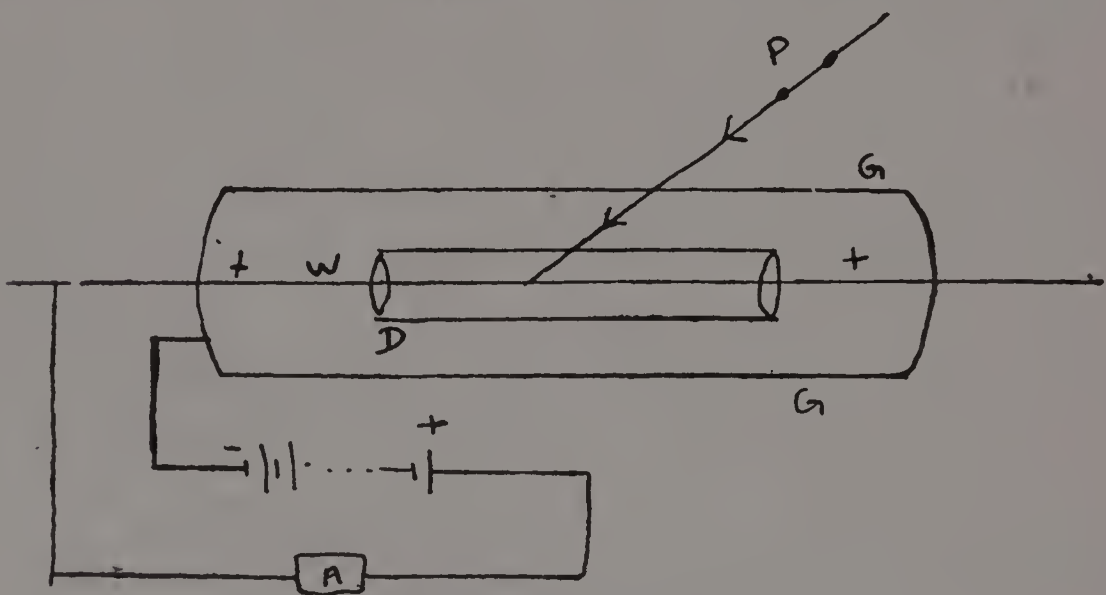
ವೀಕ್ಷಕ ಸಾಧನಗಳ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಮಾದರಿಗಳು ಹೀಗೆ ಇರುತ್ತವೆ :

(1) ಸ್ಫುರಣ ವಿಧಾನ (scintillation method)
(2) ಅಯನೀಕರಣ ಮಂದಿರದ ಉಪಕರಣ (ionization chamber)
(3) ಗೈಗರ್–ಮ್ಯುಲರ್ ಗಣಕ (Geiger-Muller counter)
(4) ಸ್ಫುರಣ ಗಣಕ (scintillation counter)
(5) ಮೇಘ ಮಂದಿರ (cloud chamber).
(6) ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಲಕ ವಿಧಾನ (photographic emulsion method)
(7) ಬುದ್ಬುದ ನಿಲಯದ ವಿಧಾನ (bubble chamber).

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಮಾದರಿಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಈಗ ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ವಿಮರ್ಶಿಸಬಹುದು.

ಗೈಗರ್–ಮ್ಯುಲರ್ ಗಣಕ

ಇದು ಸರಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೂ, ಬಹಳ ಪ್ರಭಾವಶಾಲಿಯಾದುದು. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಭಾಗವು ಎರಡು ಕಡೆಯೂ ತೆರೆಯಲ್ಪಟ್ಟ ಸುಮಾರು 25 ಸೆ.ಮೀ. ಉದ್ದದ ತಾಮ್ರದ ಒಂದು ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿ (C). ಇದನ್ನು ಮತ್ತೊಂದು ದೊಡ್ಡ ಗಾಜಿನ ಕೊಳವೆ (G) ಯ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿದೆ. ಈ ಕೊಳವೆಯಲ್ಲಿರುವ



ಚಿತ್ರ 8.8 ಗೈಗರ್ ಗಣಕ

ಅನಿಲದ ಒತ್ತಡವನ್ನು ಕಡಮೆ ಮಾಡಿ (ಸುಮಾರು 5, 10 ಸೆಂ.ಮೀ. ಪಾದರಸ) ರುತ್ತದೆ. ತಾಮ್ರದ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯ ಅಕ್ಷದ ನೇರದಲ್ಲಿ ಉದ್ದಕ್ಕೂ (W) ಒಂದು ಟಂಗ್‌ಸ್ಟನ್ ತಂತಿಯನ್ನು ಹಾಯಿಸಿ ಇದರ ತುದಿಯನ್ನು ಸುಮಾರು 1000 V ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಧನ (+) ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದೆ. ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯ ತುದಿ (D)ಯನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ ಋಣ (—) ಧ್ರುವಕ್ಕೆ ಬಂಧಿಸಿರುತ್ತದೆ.

ಒಂದು (ಕಾಸ್ಮಿಕ್) ವಿಶ್ವಕಿರಣವಾಗಲಿ, ಅಥವಾ ಯಾವುದೇ ವೇಗಕಿರಣ (*a*—ಕಿರಣ) ವಾಗಲಿ, ಈ ನಾಳಿಕೆಯ ಮೂಲಕ ಪ್ರವೇಶಿಸಿದರೆ, (P) ಅದರೊಳಗೆ ಇರುವ ಅನಿಲದ ಅಣುಗಳನ್ನು ಅಯನೀಕರಿಸುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಹೊಂದಿರುವ (W) ತಂತಿಯ ಕಡೆಗೆ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಅವುಗಳಿಗೆ ಸ್ವಲ್ಪವೇಗವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಹೊಂದಿದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇತರ ಅನಿಲ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ವಿಶ್ಲೇಷಿಸಿ, ಹೆಚ್ಚು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡುತ್ತವೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಬಹುಗುಣಿತವಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಒಂದು ಪ್ರಪಾತ (avalanche) ದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ W ತಂತಿಯ ಕಡೆ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು A ಎಂಬ ಶಕ್ತಿವರ್ಧಕ (Amplifier) ದಿಂದ ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಈ ವೃದ್ಧಿಹೊಂದಿದ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಸ್ವಿಚ್ಚನ್ನೋ (switch) ರೇಡಿಯೋ ಉಚ್ಚವಾಚಕವನ್ನೋ (loud speaker) ಅಥವಾ ಯಾವುದೋ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಸಾಧನದ ಮೂಲಕ ಪ್ರದರ್ಶಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಈ ಉಪಕರಣವಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸ್ಫುರಣ (pulses)ಗಳು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಗಣಕವನ್ನು (counter) ಸಕ್ರಿಯೆ (operate) ಗೊಳಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಹೀಗಾಗಿ ಒಂದೊಂದು ವಿಶ್ವಕಿರಣವನ್ನೂ ಬಿಡಿಬಿಡಿಯಾಗಿ ಗುರುತುಮಾಡಬಹುದು. 1 ಅಂಗುಲ ವ್ಯಾಸ ಮತ್ತು ಕೆಲವು ಅಂಗುಲಗಳ ಉದ್ದದ ನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಒಂದು ನಿಮಿಷಕ್ಕೆ ಸುಮಾರು 50–100 ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಎಣಿಕೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಹೀಗಾಗಿ, ಇಂಥ ಯಂತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ನೇರವಾಗಿ ಎಣಿಕೆಗಳನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ಸೂಚಿಗಳಿಂದ ಸುಲಭವಾಗಿ ಓದಿ ಹೇಳಬಹುದು.

ಈ ಗಣಕದ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ವಿವಿಧ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಮಾರ್ಪಾಡುಮಾಡಿ, ಹಲವಾರು ಉಪಯುಕ್ತ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಬಹುದು. ಹೊರನಾಳಿಕೆಯ ದಪ್ಪವನ್ನು ಸುಮಾರು 1–3 ಮಿ. ಮೀ. ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, *r* ಕಿರಣಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆಯನ್ನು ಕೈಗೊಳ್ಳಬಹುದು. β–ಕಿರಣಗಳ ಸಮೀಕ್ಷೆಗೆ, 0.1 ಮಿ. ಮೀ. ದಪ್ಪದ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ದ್ವಾರದ ಮೂಲಕ ಅವುಗಳನ್ನು ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡಿಸಬಹುದು. ಪ್ರೋಟಾನ್, *a*–ಕಣಗಳು ಮುಂತಾದುವುಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ, ನಾಳಿಕೆಯು ತೆಳುವಾಗಿದ್ದು ಒಳಗೆ ಒಂದು ವಾಯುಭಾರಮಾನ (atmospheric pressure) ದ ಗಾಳಿಯನ್ನೇ ತುಂಬಬಹುದು. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪರೀಕ್ಷೆಗೆ, ಒಳಗಡೆ ಜಲಜನಕದ ಅನಿಲವನ್ನು ತುಂಬಬಹುದು.

ಹೀಗಾಗಿ ಈ ಯಂತ್ರೋಪಕರಣದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಬಹಳ ವಿಶಾಲವಾದುದು.

ಸ್ಫುರಣಗಣಕ (Scintillation Counter)

ಇದರ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರ (8-9) ದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಇದರ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳು ಹೀಗಿವೆ. ನಾವು ಪರೀಕ್ಷಿಸಬೇಕೆಂದಿರುವ ವಿಕಿರಣ ಅಥವಾ ಕಣ



ಚಿತ್ರ 8.9 ಸ್ಫುರಣಗಣಕ

ವಿಶೇಷ (R) ವನ್ನು P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಒಂದು ರಂಜಕ (phosphor) ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಬೀಳುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. P–ಸತುಸಲ್ಫೈಡ್ (zns), ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ ಟಂಗ್‌ಸ್ಟೇಟ್ ಅಥವಾ ಯಾವುದಾದರೂ ವಿಶೇಷ ಪ್ಲಾಸ್ಟಿಕ್ ವಸ್ತುವಾಗಿರಬಹುದು. ಇದರ ಲಕ್ಷಣವೇನೆಂದರೆ :– ಇದರಮೇಲೆ ಯಾವುದಾದರೂ ವಿಕಿರಣವು ಆಘಾತವಾದರೆ, ಅದು ಮಿನುಗುತ್ತದೆ (Flash). ಈ ಮಿನುಗುವ ಕಾಲವು 10^{-10} ಸೆಕೆಂಡ್ ಆಗಿರಬಹುದು. ಈ ರಂಜಕವಸ್ತುವು ದೊಡ್ಡ ಹರಳುಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿಯೋ, ದ್ರವರೂಪದಲ್ಲಿಯೋ, ಪ್ಲಾಸ್ಟಿಕ್‌ನಂತೆಯೋ ಇರಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಇದು ದ್ಯುತಿಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು (P) ಹೊರಸೂಸುತ್ತದೆ.

ಈ ದ್ಯುತಿಸ್ಫುರಣಗಳನ್ನು M ಎಂಬ ಒಂದು ದ್ಯುತಿವರ್ಧಕ (Electron Multiplier) ಸಾಧನದಿಂದ ಬಹುಗುಣಿಸಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವುದು ವಿದ್ಯುತ್ ಸ್ಫುರಣಗಳ (e) ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ವೃದ್ಧಿಗೊಳಿಸುವ (A) ಶಕ್ತಿವರ್ಧಕವು ಉಳಿದ ಗಣಕಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಇರಬಹುದು. ಇತ್ತೀಚಿನ ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಕವಾಟ (valve) ಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ (Transistor) ಗಳನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಗಣಕದಿಂದ, ಪ್ರೋಟಾನ್, a-ಕಣಗಳು, ಮತ್ತು ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ದ್ರವರೂಪದ ರಂಜಕಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಕಾಸ್ಮಿಕ್ ಕಿರಣಗಳೇ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯುತ ವಿಕಿರಣಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ನಡೆದಿವೆ. ಮೂಲಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಹಲವು Bev ಆಗಿರಬಹುದು.

ಈ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ 1934ರಲ್ಲಿ ಸೆರೆಂಕೋವ್ (Cerenkov) ಎಂಬ ಒಬ್ಬ ರಷ್ಯನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿ ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ತಿಳಿಸಬಹುದು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸೆರೆಂಕೋವ್ ವಿಕಿರಣ (Cerenkov Radiation) ಎಂದು ಹೆಸರಿಡಲಾಗಿದೆ.

ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲಕ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ β–ಕಿರಣಗಳು ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ (ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ) ಚಲಿಸುವುದರಿಂದ, ಇವುಗಳನ್ನು ಒಂದು ಪಾರದರ್ಶಕ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ. ಈ ಕಣಗಳ ವೇಗವು, ಬೆಳಕಿಗೆ ಆ ಮಧ್ಯವರ್ತಿಯಲ್ಲಿರುವ ವೇಗಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ನಿರ್ವಾತಪ್ರದೇಶ ದಲ್ಲಿ (vacuum) ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು C_0 ಆಗಿದ್ದರೆ, ಗಾಜು ಅಥವಾ ಪ್ಲಾಸ್ಟಿಕ್ ಮಧ್ಯ ವರ್ತಿಯಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುವ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗವು ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದು $\frac{2}{3} C_0$ ಅಥವಾ $\frac{3}{4} C_0$ ಆಗಿರಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ β–ಕಿರಣಗಳ ವೇಗವು C_0 ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಮೀರಲಾರ ದಾಗಿದ್ದರೂ, ಗಾಜಿನಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬಹುದು. ಇದರ ಪರಿಣಾಮ ವಾಗಿ β–ಕಿರಣಗಳು ಚಲಿಸುವ ನೇರಕ್ಕೆ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟಕೋನ ಪ್ರಮಾಣದ ನೇರದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕು ಹೊರಬೀಳುವುದು ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಹೀಗೆ ಹೊರ ಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಒಂದು ಸೂತ್ರವನ್ನೂ ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲಾಗಿದೆ.

ಸೆರೆಂಕೋದ್ ವಿಕಿರಣಕ್ಕೆ ಧ್ವನಿಶಾಸ್ತ್ರದಿಂದ (Acoustics) ಒಂದು ಹೋಲಿಕೆ ಯನ್ನು ಕೊಡಲಾಗಿದೆ. ಶಬ್ದದ ವೇಗವನ್ನು ಮೀರಿಸಿ ಚಲಿಸುವ (supersonic) ಜೆಟ್ ವಿಮಾನಗಳು ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ಹಾರುತ್ತಿರುವಾಗ, ಬಹಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಶಬ್ದದ ಅಲೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವು ಗಳನ್ನು ಮಾಕ್ (mach) ಅಲೆಗಳು ಎಂದು ಕರೆಯುವುದುಂಟು. ಈ ಹೋಲಿಕೆ ಯಿಂದ ಸೆರೆಂಕೋವ್ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು 'ಹಾಡುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು'' (singing electrons) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. 2 Mev ಶಕ್ತಿಯ β–ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಉಪ ಯೋಗಿಸಿ, ಸೆರೆಂಕೋವ್ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಪ್ರದರ್ಶಿಸಬಹುದು. ಇದು ಸ್ವಲ್ಪ ನೀಲಿ ಬಣ್ಣದ ಜ್ಯೋತಿಯಂತೆ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಸ್ಫುರಣಗಣಕಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಅತಿಶಕ್ತಿ ಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಒಂದು ಮೂಲ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಗಣಕದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿ ಸಿರುವ ಒಂದು ದ್ರವದ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಮೊದಲು ಅದು ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ತುಂತುರುಗಳಂತೆ (electron showers) ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳ ವೇಗವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿಯೇ ಇರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳ ಸಮೂಹದಿಂದ ಸೆರೆಂಕೋವ್ ಜ್ಯೋತಿಯು ಉದ್ಭವವಾಗುವ ಸಾಧ್ಯತೆ ಇದೆ. ಈ ವಿಕಿರಣಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ದ್ಯುತಿಗುಣಕ (photo-multiplier) ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಬಹುದು. ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಗಣಕದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಸ್ಫುರಣಗಳ ಗಾತ್ರವು ಮೂಲ ಕಣದ ಶಕ್ತಿಗೆ ಅನುಗುಣ ವಾಗಿದ್ದು, ಅವುಗಳನ್ನು ಸಮೀಕ್ಷೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಬಹುದು.

ಇಂಥ ದ್ರವ ಸ್ಫುರಣಗುಣಕದಲ್ಲಿ 300 ಲೀಟರ್ ಗಾತ್ರದ ಒಂದು ರಂಜಕ ದ್ರವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, 90 ದ್ಯುತಿಗುಣಕಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ, ಮತ್ತೆ ಯಾವ ಸಾಧನದಲ್ಲಿಯೂ ಗೋಚರಿಸಲಾಗದಂಥ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (neutrino) ಕಣವನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಈ ಉಪಕರಣದ ಉಪಯೋಗವು ಎಷ್ಟು ಮಹತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ ಎಂದು ಒತ್ತಿ ಹೇಳಬೇಕಾಗಿಲ್ಲ.

ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಲೇಪ ವಿಧಾನ (Photographic emulsion)

ಇದೊಂದು ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಣಗಳ ಮಾರ್ಗದರ್ಶನವನ್ನು ಮಾಡಿತೋರಿಸತಕ್ಕ ನವೀನ ವಿಧಾನ. ಇದನ್ನು ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನ ಪೋವೆಲ್ (Powell) ಮತ್ತು ಒಕ್ಕಿಲಿಯಾನಿ (Occhiliani) ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು 1938 ರಲ್ಲಿ ಪ್ರಕಟಪಡಿಸಿದರು. ಇದರ ತತ್ತ್ವವು ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಗ್ರಹಣದ ಮಾದರಿಯನ್ನೇ ಅವಲಂಬಿಸಿದೆ. ಸಾಮಾನ್ಯ ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಿಲಂನ ಮೇಲೆ ಬೆಳಕುಬಿದ್ದರೆ, ಆ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕ ಫಲಕದ ಮೇಲ್ಮೈಯ ಮೇಲೆ ಇರುವ ರಜತ ಬ್ರೋಮೈಡ್ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಹರಳುಗಳ ಮೇಲೆ ಯಾವ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆ ಆಗುತ್ತದೆಯೋ ಅದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿಯೇ, ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಣ (ಪ್ರೋಟಾನ್, α–ಕಣ ಇತ್ಯಾದಿ) ವೂ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಉಂಟು ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಈ ಫಲಕಗಳನ್ನು ನಂತರ ಸಾಮಾನ್ಯ ಸ್ಫುಟೀಕಾರಕ (developing processes) ವಿಧಾನಗಳಿಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದರೆ, ಪ್ರಕ್ರಿಯೆಯಾಗಿರುವ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಕಪ್ಪು ರಜತ ಹರಳುಗಳನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು.

ಸಾಧಾರಣ ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಿಲಂಗಳಲ್ಲಿರುವ ಕ್ರಿಯಾತ್ಮಕಪದರದ ಲೇಪವು ಬಹಳ ತೆಳುವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಪೊವೆಲ್, ತನ್ನ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, ಆಲೇಪವನ್ನು 1 ಮೀ. ಮೀ. ದಪ್ಪದವರೆವಿಗೂ ಇರುವಂತೆ ವಿಶೇಷ ರೀತಿಯ ಫಿಲಂಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಿದನು. ಇದರಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 80% ರಜತ ಬ್ರೋಮೈಡ್ ಅಡಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಇಂಥ ದಟ್ಟ ಲೇಪದ ಫಿಲಂಗಳನ್ನು ಒಂದರಮೇಲೆ ಒಂದು ಪೇರಿಸಿ, ದೊಡ್ಡ ಗಾತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಪೇರಿಕೆ ಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸಿದನು. ಅವುಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು ಅಂಶಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಿದನು ಈ ಪೇರಿಕೆ (stack) ಯಲ್ಲಿರುವ ಫಿಲಂಗಳ ಮೂಲಕ, ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಣಗಳಾಗಲಿ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಾಗಲಿ, ಹಾಯ್ದರೆ, ಅವುಗಳ ಮಾರ್ಗ ನಿದರ್ಶಕ ಜಾಡುಗಳು (tracks) ಉಲ್ಲೇಖಿತವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಜಾಡುಗಳ ಉದ್ದ ಮತ್ತು ಸಾಂದ್ರತೆಗಳು ಚಲಿಸುವ ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನೂ ವೇಗವನ್ನೂ ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತವೆ.

ಈ ಜಾಡುಗಳನ್ನು ಗಾತ್ರವೃದ್ಧಿ ಮಾಡಿಸಲು ಪ್ರಬಲ ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕಗಳನು (microscopes) ಅಳವಡಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ತಯಾರಿಸಲಾದ

ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಬರುವ ಜಾಡುಗಳ ಪರಿಶೀಲನೆಯು ನುರಿತ ಸಂಶೋಧಕ ರಿಂದ ಮಾತ್ರ ಸಾಧ್ಯ. ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೂ, ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಮಾದರಿಯ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಭೇದನ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳ ಸ್ವರೂಪ, ವೇಗ ಮತ್ತು ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮರೀತಿ ಯಲ್ಲಿ ಅಳೆಯಲು ಈ ಛಾಯಾಚಿತ್ರ ವಿಧಾನವು ಬಹಳ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿದೆ.

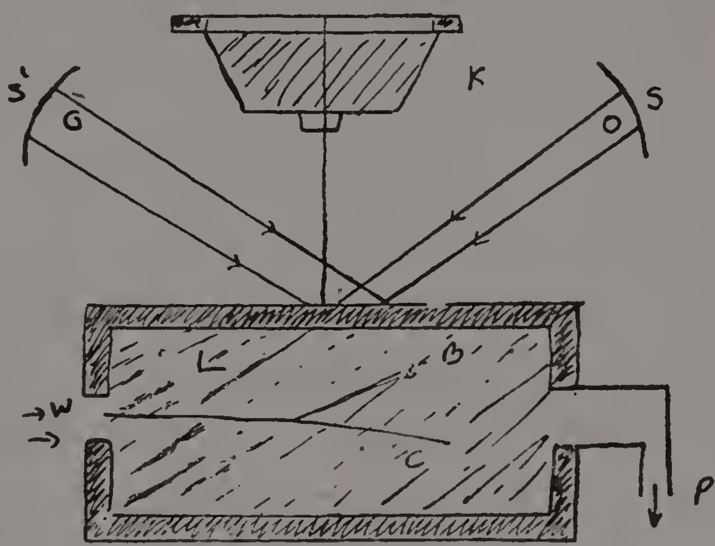
ಬುದ್ಬುದನಿಲಯದ ವಿಧಾನ (Bubble chamber)

ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯುತ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಸಹಾಯವಾಗು ವಂತೆ ಗ್ಲಾಸರ್ (Glaser) ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1952ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಉಪಕರಣ ಮಾದರಿಯನ್ನು ಪ್ರಕಟಪಡಿಸಿದನು. ಇದೇ ಬುದ್ಬುದ ನಿಲಯದ ವಿಧಾನ.

ಸಾಧಾರಣ ವಿಲ್ಸನ್ ಮಾದರಿಯ ಮೇಘಮಂದಿರದ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಂಭಾಕೃತಿಯ ಒಂದು ಗಾಜಿನ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಧೂಳುರಹಿತ ಗಾಳಿಯು ಸಂತುಷ್ಟ ನೀರಿನ ಹಬೆ (saturated vapour) ಯೊಂದಿಗೆ ಮಿಶ್ರವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಿರು ವಾಗ, ಆವರಣದ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಯಾಂತ್ರಿಕ ವಿಧಾನದಿಂದ ತತ್‌ಕ್ಷಣ 1 : 1.25 ರೀತಿ ಯಲ್ಲಿ ವಿಸ್ತರಿಸಲು ಅವಕಾಶ ಮಾಡಿದರೆ, ಈ ಸಮೋಷ್ಣ (adiabatic) ವಿಕಾಸ ದಿಂದ ನೀರಿನ ಹಬೆಯು ಹನಿಗೂಡುತ್ತದೆ. ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ಪಾರ್ಶ್ವದಿಂದ ಅವರಣದೊಳಕ್ಕೆ α–ಕಿರಣಗಳೂ ಅಥವ ಬೇರೆ ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಣ ಗಳನ್ನು ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡಿಸಿದರೆ, ಈ ಕಣಗಳು ಅನಿಲದ ಅಣುಗಳನ್ನು ಅಯನೀಕರಿಸಿ ಅಯಾನು (ions) ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡುತ್ತವೆ–ಅತಿ ಪೂರಣದಿಂದ super-saturation) ಹನಿಗೂಡಿದ ನೀರಿನ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅಯಾನುಗಳು ಆಸರೆ (nuclei) ಯನ್ನು ಕೊಡುತ್ತವೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಒಂದು ಮೇಘದ ರೂಪವು ಬರುತ್ತದೆ. ಅಯಾನುಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ ಅವುಗಳ ಮೇಲೆ ನೆಲೆಸಿರುವ ನೀರಿನ ಬಿಂದುಗಳು ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ದೃಶ್ಯವನ್ನು ಪ್ರಬಲವಾದ ಬೆಳಕಿನಿಂದ ಬೆಳಗಿಸಿ ಒಂದು ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರವನ್ನು ತೆಗೆದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ಉಲ್ಲೇಖವಾಗಿರುವ ಮಾರ್ಗ ಜಾಡುಗಳು (tracks) α, β, ಮುಂತಾದ ಕಣಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸುತ್ತವೆ.

ಇದೇ ತತ್ತ್ವವನ್ನೇ ಮಾರ್ಪಡಿಸಿ, ಗ್ಲಾಸರ್ (Glaser) ತನ್ನ ಉಪಕರಣ ವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದನು. ಇಲ್ಲಿ ಅಯಾನುಗಳು ಒಂದು ದ್ರವದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಒಂದು ದ್ರವವನ್ನು ಸೂಕ್ಷ್ಮರೀತಿಯಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಸಹಜ ಕುದಿಯುವ ಬಿಂದುವಿ ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೆ ಅತಿ ತಾಪಿಸಿ (super-heat) ಆ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಒತ್ತಡ ವನ್ನು ಥಟಕ್ಕನೆ ಕಡಿಮೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಕುದಿಯುವುದು ಆರಂಭವಾಗಿ ನೀರಿನ ಬುದ್ಬುದಗಳು (Bubbles) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಆ ಸಂದರ್ಭದಲ್ಲಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮ

ಕಣಗಳನ್ನು (ವಿದ್ಯುದಂಶ) ದ್ರವದ ಆವರಣದೊಳಕ್ಕೆ ಪ್ರವೇಶಿಸಿದರೆ, ಅಯಾನುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಅವುಗಳ ಮೇಲೆ ದ್ರವದ ಬುದ್ಬುದಗಳು ಆಶ್ರಯಹೊಂದಿ, ಅಯಾನುಗಳ ಚಲನ ಮಾರ್ಗವನ್ನೇ ಅನುಸರಿಸಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಆವರಣವನ್ನು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಿಯ ಬೆಳಕಿನಿಂದ ಬೆಳಗಿಸಿ ತತ್‌ಕ್ಷಣವೇ ಛಾಯಾಚಿತ್ರದ ಮೂಲಕ ದೃಶ್ಯದ ಚಿತ್ರವನ್ನು ತೆಗೆಯಬಹುದು. ಇದರಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ ಅಂಗಗಳಾದ, ಅಯನೀಕರಣ, ಬುದ್ಬುದ ಉತ್ಪಾದನೆ, ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಭಾವ ಮತ್ತು ಕ್ಯಾಮರಾ ಕ್ರಿಯೆ-ಇವುಗಳೆಲ್ಲವೂ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿಯೇ ಸ್ವಯಂಚಾಲಕ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವಂತೆ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತವೆ.



ಚಿತ್ರ 8.10 ಬುದ್ಬುದ ಅಲಯ

G ಎಂಬುದು ಒಂದು ಗಾಜಿನ ಆವರಣ. ಇದರೊಳಗೆ ಇರುವುದು L ದ್ರವ. ಇದನ್ನು P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಒಂದು ಹೆಚ್ಚು ಒತ್ತಡ ವ್ಯವಸ್ಥೆಗೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಎಡಗಡೆ W ದ್ವಾರದ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಶಕ್ತಿಯುತ ಕಣಗಳು ಆವರಣವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತವೆ. ಒಳಗಿರುವ ದ್ರವವನ್ನು ಕುದಿಯುವ ಬಿಂದುವಿಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚು ಉಷ್ಣಾಂಶಕ್ಕೆ ಕಾಯಿಸಿ, ಒಂದು ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವಾಗ, W ಮೂಲಕ ಕಣಗಳ ಪ್ರವೇಶವೂ, P ಮೂಲಕ ಒತ್ತಡದ ಇಳಿಯುವಿಕೆಯೂ ಏಕಕಾಲಿಕವಾಗುವಾಗ, ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿಯೇ S, S^1 ಗಳಿಂದ ಬೆಳಕಿನ ಪ್ರಕಾಶವು ದೃಶ್ಯದ ಮೇಲೆ ಬಿದ್ದು, (K) ಕ್ಯಾಮರಾವಿಂದ ಚಿತ್ರವನ್ನು ತೆಗೆಯುವ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿರುತ್ತದೆ.

ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ದ್ರವವು ದ್ರವರೂಪದ ಜಲಜನಕ. ಇದರ ಉಷ್ಣಾಂಶವು – 253°C. ಇದರ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವೇನೆಂದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಸಾಂದ್ರತೆಯಿಂದ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೇ ಲಕ್ಷ್ಯಗಳಂತೆ (targets) ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಕಣಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶ ಮತ್ತು ಆ ವೇಗಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು, ಈ ಉಪಕರಣದೊಂದಿಗೆ ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತದೆ – 72

ಅಂಗುಲ ಗಾತ್ರದ ಇಂಥ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಉಪಕರಣವನ್ನು ಆಲ್‌ವರೆಜ್ ಮತ್ತು ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು ಕ್ಯಾಲಿಫೋರ್ನಿಯ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾನಿಲಯದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ವರ್ಷಗಳ ಕಾಲ ಉಪಯೋಗಿಸಿರುತ್ತಾರೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೂ, ದ್ರವಜಲಜನಕದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳಿಗೂ ನಡೆಯುವ ಘರ್ಷಣೆಗಳನ್ನು ಚಿತ್ರಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಇದೇ ಉಪಕರಣವನ್ನೇ ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಪ್ರತಿ ಲಾಂಬ್ಡಾ (anti-lambda) ಎಂಬ ವಿಚಿತ್ರ ಕಣದ ಜನ್ಮಚರಿತ್ರೆಯನ್ನು ಕೂಡ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಫಲರಾಗಿದ್ದಾರೆ.

8·8 ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಭೇದನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ನಿದರ್ಶನಗಳು ಭೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತ

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಮುಖ್ಯ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ಭೇದನನಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ವಿಷಯವನ್ನೂ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗೆ ನಿರೂಪಿಸಿರುತ್ತದೆ.

$$A + B \rightarrow C \rightarrow P + O \qquad (8 \cdot 20)$$

ಇದರಲ್ಲಿ B ಎಂಬ ಕ್ಷಿಪಣಿಕಣ A ಪರಮಾಣುಬೀಜದೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದರ ಮೊದಲ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ C ಎಂಬ ಒಂದು ಮಧ್ಯಸ್ಥವಾದ ಸಂಯುಕ್ತ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಭೋರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1936 ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿದನು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಲ್ಲಿರುವ ಕಣಗಳು ಬಹಳ ಒತ್ತಾಗಿ ಕೂಡಿರುವುದರಿಂದಲೂ, ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಬಹಳ ಪ್ರಬಲವಾದ ಅಲ್ಪಾವಧಿ ಬಲಗಳು (short-range forces) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರುವುದರಿಂದಲೂ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ಒಂದು ದ್ರವದ ಬಿಂದು (drop of liquid) ವಿನಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಕ್ಷಿಪಣಿಯು ಇದನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿ, ಗ್ರಹಣವಾದೊಡನೆಯೇ, ಅದರ ಶಕ್ತಿಯೆಲ್ಲವೂ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಹಬ್ಬುತ್ತದೆ. ಆ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಅದು ಒಂದು ಕಾಯಿಸಿದ ನೀರಿನ ಹನಿ (heated liquid drop) ಯಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಉದ್ರೇಕಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ. ಒಂದು α ಕಣವು ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ಹೊಕ್ಕ ಕ್ಷಣದಲ್ಲಿಯೇ ತನ್ನ ನಿಜರಚನೆ (2p + 2n) ಯನ್ನು ಅಳಿಯುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಅದು ಬೀಜದೊಡನೆ ಲೀನವಾಗಿ ಹೊಸ ಕಣವೇ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಉದ್ರೇಕಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ಸಂಯುಕ್ತ ಪರಮಾಣುಬೀಜ (C) ದ ಒಂದೊಂದು ಕಣಕ್ಕೂ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿಯಿದ್ದರೂ, ಅದರಿಂದ ಕಳಚಿಕೊಳ್ಳುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಸ್ವಲ್ಪಕಾಲದನಂತರ ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು ವೃದ್ಧಿಹೊಂದಿ ಅದು ಬಿಡುಗಡೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ನಾವು ದ್ರವದ ಹನಿಯು ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ

ನಿಧಾನವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಬಾಷ್ಪೀಕರಣ (evaporation) ಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದು. ಹೀಗೆ ಹೊರಬೀಳುವುದೇ O ಕಣ. ಉಳಿಯುವುದೇ P ಉಳಿಕೆಯು ಪರಮಾಣು ಬೀಜ (residuary product nucleus). ಹೀಗೆ ಉಳಿಕೆಯಾಗುವ P ಬೀಜವು ತನ್ನ ಸ್ಥಾಯೀ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೋ ಉದ್ರೇಕಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೋ ಇರಬಹುದು.

B ಎಂದು ಗುರುತಿಸಿರುವ ಕ್ಷಿಪಣಿಯು ಹಲವಾರು ಬಗೆಯಾಗಿರಬಹುದು. α, p, d, n ಮುಂತಾಗಿ α ಕಿರಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್, ಡ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ನೂಟ್ರಾನ್ ಆಗಿರಬಹುದು.

(α, p) ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ, ಮೊದಲ ಕಣ α ಕ್ಷಿಪಣಿಯೆಂದೂ, ಎರಡನೆಯದಾದ p ಅಂತಿಮವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಣವೆಂದೂ ಸಂಪ್ರದಾಯ.

$$\text{(d, p)}: \quad {}_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_1H^1$$
$$(p, \alpha) \quad {}_{13}Al^{27} + {}_1H^1 \rightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_2He^4$$
$$\text{(d, d)} \quad {}_{13}Al^{27} + {}_1D^2 \rightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_2He^4$$
$$(n, \alpha) \quad {}_{13}Al^{27} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{11}\overset{+}{Na}{}^{24} + {}_2He^4 \qquad \ldots 8{\cdot}21$$

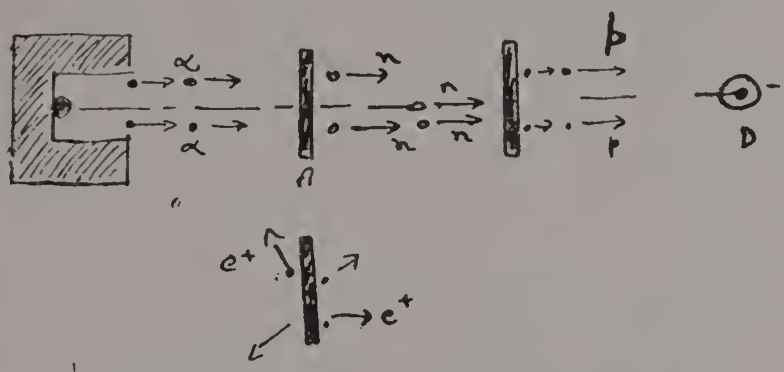
ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆಯನ್ನು ತೋರಿಸಿಲ್ಲ. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಇದರ ವಿಷಯವನ್ನು ಹಿಂದೆಯೇ ಸವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ವಿವರಿಸಲಾಗಿದೆ.

8.9 ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆ (Artificial Radioactivity)

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಸ್ವಯಂಪ್ರೇರಿತ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆಯ ವಿಷಯವನ್ನು ವಿವರಿಸಿದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ M ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಆಕೆಯ ಪತಿ (P. ಕ್ಯೂರಿ) ಯೂ ಮಾಡಿದ ಚರಿತ್ರಾರ್ಹವಾದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನೂ ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಿದೆ. ಪ್ರಕೃತಿಯ ಲೀಲೆಯೋ ಎಂಬಂತೆ, ಎಂ. ಕ್ಯೂರಿಯ ಮಗಳಾದ ಐರೀನ್ ಕ್ಯೂರಿ ಮತ್ತು ಆಕೆಯ ಪತಿ ಫ್ರೆಡರಿಕ್ ಜೋಲಿಯೋ (F. Joliot) ಕೂಡ, ಅದೃಷ್ಟಶಾಲಿಗಳಾಗಿ, ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಪ್ರಸಿದ್ಧರಾಗಿದ್ದಾರೆ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಆ ದಂಪತಿಗಳಿಗೂ ನೋಬೆಲ್ ಪಾರಿತೋಷಕವು ದೊರಕಿತು. ಒಂದೇ ಸಂತತಿಯಲ್ಲಿ ಅಪಾರವಾದ ಮೇಧಾಶಕ್ತಿಯು ಮುಂದುವರೆದಿರುವುದು ಆಶ್ಚರ್ಯದ ಸಂಗತಿಯೇ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಇಂಗ್ಲೆಂಡಿನಲ್ಲಿಯೂ, ಥಾಂಸನ್ (ತಂದೆ ಮತ್ತು ಮಗ), ಬ್ರಾಗ್ (ತಂದೆ ಮತ್ತು ಮಗ) ಪ್ರಸಿದ್ಧರಾಗಿದ್ದಾರೆ.

ಜೋಲಿಯೋ ದಂಪತಿಗಳು ಉಪಯೋಗಿಸಿದ ಉಪಕರಣಡ ಚಿತ್ರವನ್ನು 8-11) ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ. α—ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹಲವಾರು ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುಗಳ

ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದ ಅನೇಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಮುಂದುವರೆಯುತ್ತಿರುವಾಗ, ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಲೋಹದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಲಕ್ಷ್ಯವಾಗಿಟ್ಟಾಗ ಒಂದು ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸಂಭವವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದರು. ಇದು 1934 ರಲ್ಲಿ ನಡೆಯಿತು.



ಚಿತ್ರ 8.11 ಪ್ರೇರೇಸಿ ಕವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆ

P ಎಂಬ ಒಂದು ಪೋಲೋನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ a ಕಣಗಳು ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು A ಎಂಬ ಅಲ್ಯುಮಿನಿಯಂ ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನಮೇಲೆ ಆಘಾತವಾಗುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಪರಮಾಣುಬೀಜಭೇದನವಾಗಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (n) ಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ—ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು F ಎಂಬ ಪ್ಯಾರಫಿನ್ ಪರೆಯ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಹೋರಬೀಳುವ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣ (p) ಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನ (D) ಎಂಬ ವೀಕ್ಷಕಸಾಧನದಿಂದ (Detector) ಅಳೆಯಲಾಯಿತು.

ಈ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧಕರು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ವೈಶಿಷ್ಟ್ಯವು ಹೀಗಿದ್ದಿತು. P ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಪೋಲೋನಿಯಂ ಮೂಲ ವಸ್ತುವನ್ನು ಬೇರೆ ಕಡೆಗೆ ವರ್ಗಾಯಿಸಿದ ಮೇಲೆಯೂ ಕೂಡ, ವೀಕ್ಷಕಸಾಧನ (D)ದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಅವ್ಯಕ್ತ ವಿಕಿರಣದ ಪ್ರಭಾವವು ಇದ್ದೇ ಇದ್ದಿತು. ಇದರ ಸ್ವರೂಪವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸಿದ ಮೇಲೆ ಈ ಅವ್ಯಕ್ತಕಣಗಳು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ (e^+) ಕಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿರುವುದಾಗಿ ಖಚಿತಪಡಿಸಿದರು. ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಅವಳಿಯೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಅದರ ತೂಕವೂ ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಿರುವಷ್ಟೇ ಇದ್ದರೂ, ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಧನವಾಗಿಯೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಋಣವಾಗಿಯೂ ಇರುವುವು. ಆದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳನ್ನು (e^+) ಮತ್ತು e^- ಎಂದು ಗುರುತಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ ಸಾಮಾನ್ಯ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು a ಕಿರಣಗಳು ಹೊಕ್ಕಾಗ, ಈ ಗ್ರಹಣದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ರಂಜಕ ಪರಮಾಣುಬೀಜವು ವಿಕರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆಯನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನೇ

ಪ್ರೇರೇಪಿತ (Induced) ಅಥವಾ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ಕೃತಕ ಶಕ್ತಿಯ ಫಲವಾಗಿ, ಅದರಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

$$ {}_2He^4 + {}_{13}Al^{27} \rightarrow \overset{+}{{}_{15}P^{30}} + {}_0n^1 \qquad \ldots \quad 8.22 $$

$$ \overset{+}{{}_{15}P^{30}} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_1e^0 + \nu \qquad \ldots \quad 8.23 $$

ಮೊದಲು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ $\overset{+}{{}_{15}P^{30}}$ ಕೃತಕರಂಜಕ ಪರಮಾಣು. ಇದು ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರದೆ ಅದರಿಂದ ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ (${}_1e^0$) ಹೊರಬೀಳು ತ್ತದೆ–ಉಳಿಕೆಯಾಗುವ ಪರಮಾಣುವು (${}_{14}S^{30}$) ಸಿಲಿಕಾನ್ ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

$\overset{+}{{}_{15}P^{30}}$ ಕೃತಕರಂಜಕದ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲವು 2.5 ನಿಮಿಷಗಳು. ಮೇಲೆ ತೋರಿಸಿರುವ ν ಎಂಬುದು ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋಕಣ.

(${}_1e^0$) ಎಂಬುದರಲ್ಲಿ ತೂಕವನ್ನು O ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿರುವುದರ ಅರ್ಥ ವೇನೆಂದರೆ, ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಅದು $\frac{1}{1836}$ ಪ್ರೋಟಾನ್ ತೂಕ ಇದನ್ನು ಗಮನಾರ್ಹ ವಿಲ್ಲವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದೆ. ಹಾಗೆಯೇ ${}_{-1}e^0$ ಎಂಬುದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಆಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಬರೆಯುವುದರಿಂದ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಸಮತೋಲನವನ್ನು (Balance) ಮಾಡಿ ದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಕೃತಕರಂಜಕವು ಆಸ್ಫೋಟಿಸಲು ಸ್ವಲ್ಪಕಾಲವು ತಗಲುವುದರಿಂದ ಅದನ್ನು ಪತ್ತೆ ಹಚ್ಚಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು–α ಕಿರಣಗಳಿಂದ ಆಘಾತ ಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟ ಅಲ್ಯೂ ಮಿನಿಯಂ ಲೋಹದ ತುಂಡನ್ನು Hcl ಆಮ್ಲದಲ್ಲಿ ಮಜ್ಜನಮಾಡಿಸಿ (dissolved) ಅದರೊಂದಿಗೆ ಸಾಧಾರಣ ರಂಜಕವನ್ನು ಜೊತೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಇಟ್ಟು, ರಾಸಾಯನಿಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿದನಂತರ ಎರಡನ್ನು ಬೇರ್ಪಡಿಸಿದ ಮೇಲೆ, ಎರಡು ಭಾಗ ಗಳಿಗೂ ಇರುವ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಗೊತ್ತಾಯಿತು-ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಭಾಗದ ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯ ಜಲಜನಕದೊಂದಿಗೆ ಹೋಯಿತು. ಇನ್ನೂ ಕೆಲವು ರಾಸಾಯನಿಕ ಸಮೀಕ್ಷೆ ಗಳ ನಂತರ, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಹೊರಮಾಡುವ ವಸ್ತುವು ಅಲ್ಯೂ ಮಿನಿಯಂ ಅಲ್ಲವೆಂದು ರಂಜಕದ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯಾಗಿರಬೇಕೆಂದೂ ನಿರ್ಧರಿಸಲಾಯಿತು. ಇನ್ನೊಂದು ಐತಿಹಾಸಿಕ ಘಟನೆ-ಏಕೆಂದರೆ, ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲತೆಯು, U, Ra, ಮುಂತಾದ ಕೆಲವೇ ಭಾರವಸ್ತುಗಳ ಗುಣವಾದರೆ, ನಾವು ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಯಾವ ಹಗುರ

ಅಥವಾ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾಗಿ ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುವನ್ನೂ ಕೂಡ, ಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪ್ರೇರೇಪಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾರ್ಪಾಡುಮಾಡಬಹುದು. ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಶಕ್ತಿಯು ಅನಿಯಂತ್ರಿಕವಾಗಿದ್ದರೆ, ಕೃತಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸುವುದು ನಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗ ಗಳಿಗೆ ಒಳಪಟ್ಟಿದೆ.

ಹೀಗಾಗಿ, ಪ್ರತಿ ಒಂದು ಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತುವಿಗೂ, ಕೃತಕವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅದರ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (Radio-active isotope) ಯನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ-ಇದರಿಂದ ಅತಿವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಕ್ಷೇತ್ರವೇ ಏರ್ಪಟ್ಟಂತಾಗಿದೆ-ಇದನ್ನು ಮುಂದೆ ಇನ್ನೂ ವಿಸ್ತಾರವಾಗಿ ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸ ಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನಂತರ, ನೂರಾರು ಇಂಥ ಪ್ರಯೋಗಗಳು ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ನಡೆದಿವೆ,

ಲಾರೆನ್ಸ್ ತನ್ನ ಸೈಕ್ಲಟ್ರಾನ್ ಯಂತ್ರದಿಂದ ಹೊರಬಿದ್ದ 2Mev ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಸೋಡಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಮಾಡಿ, ಅದರಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪ್ರೇರೆಪಿಸಿದನು.

$$ {}_1H^2 + {}_{11}Na^{23} \rightarrow {}_{11}\overset{+}{Na}{}^{24} + {}_1H^1 \qquad \ldots \qquad 8{,}24 $$

ಇದರಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ${}_{11}\overset{+}{Ha}{}^{24}$ ರೇಡಿಯೋ ಸೋಡಿಯಂ ಇದರಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು γ ಕಿರಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ

$$ {}_{11}\overset{+}{Na}{}^{24} \rightarrow {}_{12}Mg^{24} + {}_{-1}e^0 + \gamma \text{ ಕಿರಣ} \qquad \ldots \qquad 8.25 $$

ರೇಡಿಯೋಸೊಡಿಯಂನ ಅರ್ಧಜೀವಿತ ಕಾಲವು 15 ಘಂಟೆಗಳು ಮಾತ್ರ - ಇದರಿಂದ ಉಳಿಯುವ ವಸ್ತುವು ಮ್ಯಾಗ್ನೀಸಿಯಂ.

ಸುಮಾರು 600ಕ್ಕೂ ಮೇಲ್ಪಟ್ಟು ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪರಮಾಣುಗಳು ಗೊತ್ತಾಗಿವೆ.

8.10. ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜ ಕಣಗಳು - ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ - ಪರಮಾಣುಬೀಜಾಕೃತಿ

ಇದುವರೆವಿಗೂ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಆಧಾರದಿಂದ ನಾವು ಪರಮಾಣುಬೀಜಕ್ಕೆ ಯಾವವಿಧವಾದ ರಚನೆಯನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕು ಎಂಬುದನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು. ಮೊದಲು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಇರುವ ಕಣಗಳು ಯಾವುವು ಮತ್ತು ಅವುಗಳು ಹೇಗೆ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುತ್ತವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ನಿರ್ಧರಿಸಬೇಕು.

ನಂತರ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಗಾತ್ರ ಮತ್ತು ಆಕೃತಿಯ ವಿಷಯವಾಗಿ ನಾವು ಯಾವ ಭಾವನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬಹುದು ಎಂಬುದನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕಣಗಳನಡುವಣ ಇರಬಹುದಾದ ಪರಸ್ಪರ ಬಲಗಳ ವಿಚಾರವನ್ನೂ ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ಸುಭದ್ರತೆಯ ವಿಷಯವನ್ನೂ ಅರಿಯಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಮೊದಲು ಬೀಜಕಣಗಳ ವಿಚಾರವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದಕ್ಕೆ ಮೊದಲು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಎರಡು ಬಗೆಯ ಕಣಗಳು ಇರಬಹುದೆಂದು ಊಹಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಲು ಹಲವು ಕಾರಣಗಳಿದ್ದುವು. ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು β ಕಣಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿಸಲ್ಪಡುವುದರಿಂದಲೂ ಇವುಗಳು ಬೀಜದಿಂದಲೇ ಬರಬೇಕಾಗಿರುವುದರಿಂದಲೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಬೀಜದಲ್ಲಿಯೇ ಇರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸುವುದು ಸಹಜವಾಗಿದ್ದಿತು. ಮತ್ತೊಂದು ಕಾರಣವು ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ತೂಕ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಸರಿದೂಗಿಸುವುದು. ಈಗ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣುಬೀಜದಲ್ಲಿ ತೂಕವು 4 ಮಾನಗಳದ್ದು ಆದರಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುದಂಶದ 2 ಧನ ಮಾನಗಳು ಇರುತ್ತವೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಹೊರಗಡೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇದ್ದರೆ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದರಚನೆಯ ರೀತಿಯು ಹೀಗೆಂದು ನಂಬಲಾಗಿದ್ದಿತು. 4 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು + 2 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇದ್ದರೆ, ಒಟ್ಟು ತೂಕವು ಸರಿಹೋಗಿ ಒಟ್ಟು ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ $+4e-2e=+2e$ ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದೇ ರೀತಿ ಇಂಗಾಲ (C) ದ ಬೀಜದಲ್ಲಿ 6 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, 12 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳು ಇದ್ದರೆ ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ತೂಕವೂ (12), ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ $+6e$ ಸರಿಹೋಗುತ್ತದೆ.

ಆದರೆ, ಈ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ವಿರೋಧವಾಗಿ ಹಲವು ಪ್ರಬಲ ಕಾರಣಗಳಿದ್ದುವು. ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವ ಭ್ರಮಣ ಮಹತ್ವ (spin moment) ತರಂಗಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ ಅನ್ವಯ ಇವುಗಳೇ ಮುಖ್ಯವಾದುವು. ಹೀಗಾಗಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಎಂಬ ಎರಡೇ ಬಗೆಯ ಕಣಗಳು ಇರುವುದಕ್ಕೆ ಹೆಚ್ಚು ಬೆಂಬಲ ಬಂದಿತು.

ಪ್ರೋಟಾನ್ - ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ - ರಚನೆ

ಈ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ತೂಕ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಸಮತೋಲನಕ್ಕೆ ಪರಿಹಾರವು ಸಿಕ್ಕುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ A ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ Z ಆದರೆ, ಆದರಲ್ಲಿ Z ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, (A–Z) ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

Z ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ +Ze ಮತ್ತು Z ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (ಹೊರವಲಯಗಳಲ್ಲಿ) ಗಳ –Ze ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ ವಿದ್ಯುತ್‌ಶೂನ್ಯವು ಸ್ಥಿರಪಡುತ್ತದೆ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶ ವಿಲ್ಲದಿದ್ದರೂ, ಅವುಗಳ ತೂಕವು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ತೂಕಕ್ಕೆ ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮನಾಗಿರು ವುದರಿಂದ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ A ಸರಿಹೋಗುತ್ತದೆ.

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲಮೂಲಭೂತ ವಸ್ತು ಗಳಲ್ಲಿಯೂ, (elements) ಒಂದಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಇರುವುದಾಗಿ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವರ್ಣಪಟಲ ವಿಧಾನದಿಂದ (Mass Spectrograph) ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿರುವ ವಿಷಯವನ್ನು ತಿಳಿಸಿದ್ದಾಗಿದೆ. ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಿಗೆ (isotopes) ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು, ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಪ್ರೋಟಾನ್–ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಕಣದ ರಚನೆಯಿಂದ ಸಮಂಜಸವಾದ ವಿವರಣೆ ಬರುತ್ತದೆ. ಈಗ ನಿಯಾನ್ (Ne) ಪರಮಾಣುಬೀಜದಲ್ಲಿ ಎರಡು ಬಗೆಯ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಇರುತ್ತವೆ. $_{10}Ne^{20}$ ಮತ್ತು $_{10}Ne^{22}$ – $_{10}Ne^{20}$ ನಲ್ಲಿ 10 ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು 10 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, $_{10}Ne^{22}$ ನಲ್ಲಿ 10 ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು 12 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗಳೂ ಇರಬೇಕು. ಆದ್ದರಿಂದ ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಬದಲಾಯಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿ ಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಸಂಖ್ಯೆಗಳು 20, 22 ಎಂದು ಹೇಳಿದರೆ, ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, ಈ ಬೀಜಗಳ ವಾಸ್ತವ್ಯ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕಗಳು ಸ್ವಲ್ಪ ಭಿನ್ನ ವಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ಅಂದರೆ

$_{10}Na^{20}$ ಬೀಜದ ಪರಮಾಣು ತೂಕ. 19.999 ಬಾಹುಳ್ಯ 90% (ಸುಮಾರು)
$_{10}Na^{22}$ ಬೀಜದ ಪರಮಾಣುತೂಕ. 21.998 ಬಾಹುಳ್ಯ 13% (ಸುಮಾರು)
ಈ ತೂಕಗಳ ಅತಿ ಸಮೀಪ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳು 20,22 ಆಗಿರುತ್ತವೆ. ಮತ್ತು ಇವುಗಳು ಹೊಂದಿರುವ ಬಾಹುಳ್ಯ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು 90%, 10% ಎಂದು ಇಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ, ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ Ne ಪರಮಾಣುವಿನ ತೂಕವು 20.2 ಆಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣು ತೂಕವು (Atomic Mass) ಪೂರ್ಣಾಂಕವಾಗಿ ಇಲ್ಲದೆ ಇರುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣಗಳು ಎರಡು. (i) ಅದರ ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಎರಡು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ವಿವಿಧ ತೂಕ ಪ್ರಮಾಣಗಳಲ್ಲಿ (ಬಾಹುಳ್ಯ) (Relative abundance) ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರು ತ್ತವೆ. (ii) ಈ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಬೀಜಗಳ ಪರಮಾಣುತೂಕಗಳು ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಿಗೆ ಅತಿ ಸಮೀಪವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಸಮೀಪ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನೇ ನಾವು A ಎಂದು ಸೂಚಿಸುತ್ತೇವೆ.

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವು ಕೂಡ ಮಿಶ್ರವಾಗಿದ್ದು ಅದರಲ್ಲಿ ಮೂರು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಇರುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ. ಅವುಗಳನ್ನು $_1H^1$, $_1H^2$ (ಡ್ಯೂಟರಾನ್) ಮತ್ತು $_1H^3$ (ಟ್ರೈಟಿಯಂ) ಎಂದು ಸೂಚಿಸುತ್ತೇವೆ.

$_1H^1$ ಪರಮಾಣು ತೂಕ	1.008	99.98%
($_1D^2$) ಅಥವಾ $_1H^2$	2.015	0.02%
$_1H^3$ ... (ಟ್ರೈಟಿಯಂ)	3.017	

ಒಂದೊಂದು ಸಮಸ್ಥಾನಿಯ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಪೂರ್ಣಾಂಶವಾಗಿಲ್ಲದಿರುವುದರ ಕಾರಣವನ್ನು ಮುಂದೆ ತಿಳಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಇನ್ನು, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು β ಕಣಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವುದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವನ್ನು ಹೀಗೆ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ—ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಬೀಜದಲ್ಲಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ವಿಸರ್ಜನೆಯ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಗೆಡಲ್ಪಡುತ್ತದೆ.

$$n \rightarrow p + c^- \quad \ldots \quad 8.26$$

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವಾಗ, ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು e^+ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ.

$$p \rightarrow n + e^+ \quad \ldots \quad 8.27$$

ಆದ್ದರಿಂದ, p,n ಎರಡನ್ನು ಬೀಜಕಣ (nucleon) ಗಳೆಂದು ಕರೆದರೆ, ಇವುಗಳನ್ನು ಒಂದೇ ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕಣದ ಎರಡು ಸ್ಥಿತಿಭೇದಗಳೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿ ಮೂರು ವಿವಿಧ ಗುಂಪುಗಳನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು.

(1) ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು (Isotopes)—ಇವುಗಳಿಗೆ ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯು (z) ಒಂದೇ ಆದರೆ, ಪರಮಾಣು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ (A)

ಉದಾಹರಣೆಗಳು ; $_1H^1$, $_1H^2$, $_1H^3$, ; $_{17}Cl^{35}$ $_{17}Cl^{37}$; ಇತ್ಯಾದಿ.

(2) ಐಸೋಬಾರ್ (isobars) ಗಳು:— ಇವುಗಳಿಗೆ A ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು Z ಬೇರೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇಂಥವು 44 ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರುವುದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

$_{90}ux_1{}^{234}$; $_{91}uz^{234}$; $_{91}ux_2{}^{234}$; $_{92}uII^{234}$

ಇವುಗಳೆಲ್ಲ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲವಸ್ತುಗಳು, A = 234 ಆದರೂ, Z = 90, 91, 92 ಆಗಿ ಭಿನ್ನದಾಗಿರುತ್ತವೆ.

A ಸಮಸಂಖ್ಯೆ (even) ಆದರೆ, Z ಕೂಡ ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಆದರೆ, A, Z ವಿಷಮ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಾಗಿದ್ದು, Z ಸಂಖ್ಯೆಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು 1 ಆಗಿರುವುದು ಬಹಳ ಅಪರೂಪ. ಈ ಐಸೋಬಾರ್‌ಗಳಿಗೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿರುತ್ತದೆ.

(3) **ಐಸೋಮರ್** (Iso-mers) A, Z ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದರೂ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಅಂತರ್ಯ ರಚನೆಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳ ಕಾರಣದಿಂದ, ಅವುಗಳಿಂದ ವಿಕಿರಣವಾಗುವುದರ ಕ್ಷಯ ಕಾಲಗಳಲ್ಲಿ (decay periods) ವ್ಯತ್ಯಾಸ ವಿರುತ್ತದೆ–ಇದು ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ವಿಶೇಷವಾಗಿ ಕಾಣುತ್ತದೆ.

ಬ್ರೋಮೀನ್ (Br) ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿಸಿದರೆ, ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಕ್ಷಯಕಾಲಗಳು, 18 ನಿಮಿಷ, 4.2 ಘಂಟೆ ಮತ್ತು 36 ಘಂಟೆಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ–ಇವುಗಳು ${}_{36}Br^{80}$, ${}_{37}Br^{82}$ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳೇ ಮೂಲಸ್ಥಾನಗಳೆಂದು ಗೊತ್ತಾಗಿದೆ.

ಈ ವರ್ತನೆ (Isomersim)ಗೆ ಕಾರಣವನ್ನು ಪರಮಾಣುಬೀಜದ ವಿವಿಧ ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿ (excited states) ಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಲಾಗಿದೆ.

1931ರಲ್ಲಿ ಪೌಲಿಯು β–ಕಿರಣ ವಿಸರ್ಜನೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಒಂದು ಹೊಸ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದನು. ಆತನ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದೊಂದು β ಕಿರಣವು ವಿಸರ್ಜನೆ ಹೊಂದುವಾದಾಗಲೆಲ್ಲ ಅದರೊಂದಿಗೆ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (Neutrino) ಎಂಬ ಶಕ್ತಿಕಣವೂ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ–ಇದಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಇದರ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವೂ ಗಮನಾರ್ಹವಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಶಕ್ತಿ (Energy) ಯು ಮಾತ್ರವಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ವೇಗವೂ ಬೆಳಕಿನ ವೇಗಕ್ಕೆ (c) ಸಮನಾಗಿದ್ದು ಅದನ್ನು ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಎಂದು ಗಣಿಸಬಹುದು.

ಉದಾಹರಣೆ $${}_{83}Bi^{210} \rightarrow {}_{84}Po^{210} + {}_{-1}e^{\circ} + \nu \quad \text{(ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ)} \qquad \ldots(820)$$

ಆ ವೇಗದ ನಿತ್ಯತ್ವಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆ ಕೊಡಬೇಕಾದರೆ, ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಕಲ್ಪನೆಯು ಅವಶ್ಯಕ.

ಪೌಲಿ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದು ನ್ಯೂಟಾನ್ ಕಣವು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವಾಗ, ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್-ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ದ್ವಂದ್ವ

ಕಣ (pair) ವು ವಿಸರ್ಜನೆಯಾಗುತ್ತದೆ—ಹೀಗಾಗುವುದರಿಂದ, ಮೂಲ ಮತ್ತು ಉತ್ಪನ್ನ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್-ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (e^-,ν) ದ್ವಂದ್ವದ ಶಕ್ತಿಯೂ ಸಮನಾಗಿರುತ್ತವೆ ಹಾಗೆಯೇ, ಆ ವೇಗಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೂ ಈ ದ್ವಂದ್ವದ ಆ ವೇಗವೂ ಸರಿಹೋಗುತ್ತವೆ.

ಶಕ್ತಿಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು e^-, ν ಕಣಗಳು ಹಂಚಿಕೊಳ್ಳುವುದರಿಂದ, ν ಶಕ್ತಿಯು ಶೂನ್ಯವಾದಾಗ, β ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಪರಮಾವಧಿಯಾಗಿಯೂ, ಉಳಿದ ಸಂದರ್ಭ ಗಳಲ್ಲಿ ಕಡಮೆಯಾಗಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ ಇದರಿಂದ ಶಕ್ತಿಯ ನಿಯತತ್ವದ ನಿಯಮಕ್ಕೆ ಭಂಗಬರುವುದಿಲ್ಲ. ಹಾಗಯೇ, β ಕಣಕ್ಕೆ ಭ್ರಮಣ ಆವೇಗವು $\frac{1}{2}\frac{h}{2\pi}$ ಆಗಿರುವುದ ರಿಂದ, ν ಕಣಕ್ಕೂ $\frac{1}{2}\frac{h}{2\pi}$ ಆವೇಗ ಇರಬೇಕು. ಹಾಗಿದ್ದರೆ, ಇವೆರಡರ ಒಟ್ಟು O ಅಥವಾ $\frac{h}{2\pi}$ ಆಗಿರಬಹುದಾದ್ದರಿಂದ, ಮೂಲ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಆವೇಗವು ಮೊದಲಿದ್ದಂತೆಯೇ $\frac{h}{2\pi}$ ಯನ್ನು ಗುಣಿಸುವ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಪೂರ್ಣಾಂಕ (0,1,2,3) ವಾಗಿಯೂ, ಭಿನ್ನಾಂಶಾಕ ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$,...) ವಾಗಿಯೂ ಇರಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಆವೇಗದ ನಿತ್ಯತ್ವದ ನಿಯಮವೂ ಸಮರ್ಥನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ.

ಪೌಲಿಯು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದಾಗ, ಈ ತತ್ತ್ವವು ಒಂದು ಕಾಲ್ಪನಿಕ ಸಿದ್ಧಾಂತ ವಾಗಿದ್ದಿತು. ಆದರೆ, 1956 ನಲ್ಲಿ ರೈನೆಸ್ ಮತ್ತು ಕೌವೆನ್ (Reines & Cowen) ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (ν) ಕಣದ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು (existence) ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. ಆ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ν ಕಣವನ್ನು (P) ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣವು ಗ್ರಹಣಮಾಡಿ ನಂತರ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ (n, e^+) ಕಣಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿತು. ಇದರಿಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಕಣವನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕಿಂತ ಅತಿ ಕಡಮೆ $\left(\frac{1}{1000}\,m\right)$ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾದ, $\frac{1}{2}\frac{h}{2\pi}$ ಭ್ರಮಣ ಆ ವೇಗವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವ ಮೂಲ ಭೂತ (elementary) ಕಣದಂತೆ ಭಾವಿಸಲು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮರ್ಥನೆ ಬಂದಂ ತಾಯಿತು.

ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ಕೆ ಸುಭದ್ರತೆ, ಭ್ರಮಣ ಆವೇಗ, ಕಾಂತೀಯ ಆವೇಗ ಮುಂತಾದ ಗುಣಗಳಿರಬೇಕಾದರೆ ಅದರ ಆಕೃತಿಯು ಯಾವ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವುದೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು ಎಂಬ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಕಲ್ಪನೆಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು.

ಮೊದಲನೆಯದಾಗಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಕಟ್ಟಡವನ್ನು α-ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನಾಗಿ ಭಾವಿಸುವುದು ಆದರೆ ಈ ಸ್ವರೂಪವು ಹಾಗೆಯೇ ಉಳಿಯುವಹಾಗಿಲ್ಲ.

ಮತ್ತೊಂದು ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಭೋರ್, ಹೈಸನ್ ಬರ್ಗ್, ಮೂಜರಾನ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಮಾಡಿದ್ದಾರೆ. ಇದನ್ನು ದ್ರವಹನಿ (Liquid drop model)ಯ ಆಕೃತಿ ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಬೀಜಕಣಗಳನ್ನು ದ್ರವದ ಹನಿಗಳನ್ನಾಗಿ ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಸಾಂದ್ರತೆ, ಮೇಲ್ಮೈ ಕರ್ಷಕಬಲ (Surface Tension) ಮುಂತಾದ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಅಂತರಬಲಗಳು, ಪರಮಾಣುವಿದಲನ (Fission) ಮುಂತಾದ ವಿಷಯ ಗಳನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಮೂರನೆಯ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಕವಚದ (shell) ಆಕೃತಿಯೆಂದು ಕರೆಯ ಬಹುದು. ಹಾಕ್ಸಲ್, ನಾರ್ಡ್ ಹೈಮ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳನ್ನು ಇದನ್ನು ಪ್ರತಿ ಪಾದಿಸಿದ್ದಾರೆ. ಇದರ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣುಬೀಜವನ್ನು ಅನಿಲದ ರೂಪದಲ್ಲಿರುವ ಬಿಡಿ ಕಣಗಳನ್ನಾಗಿ ಭಾವಿಸಿ, ಅವುಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವವಿದ್ದು, ಪೌಲಿತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕಲ್ಪನೆಯಿಂದ, ಭ್ರಮಣ ಆವೇಗ ಮುಂತಾದ ಲಕ್ಷಣಗಳಿಗೆ ಅರ್ಥವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸ ಬಹುದು.

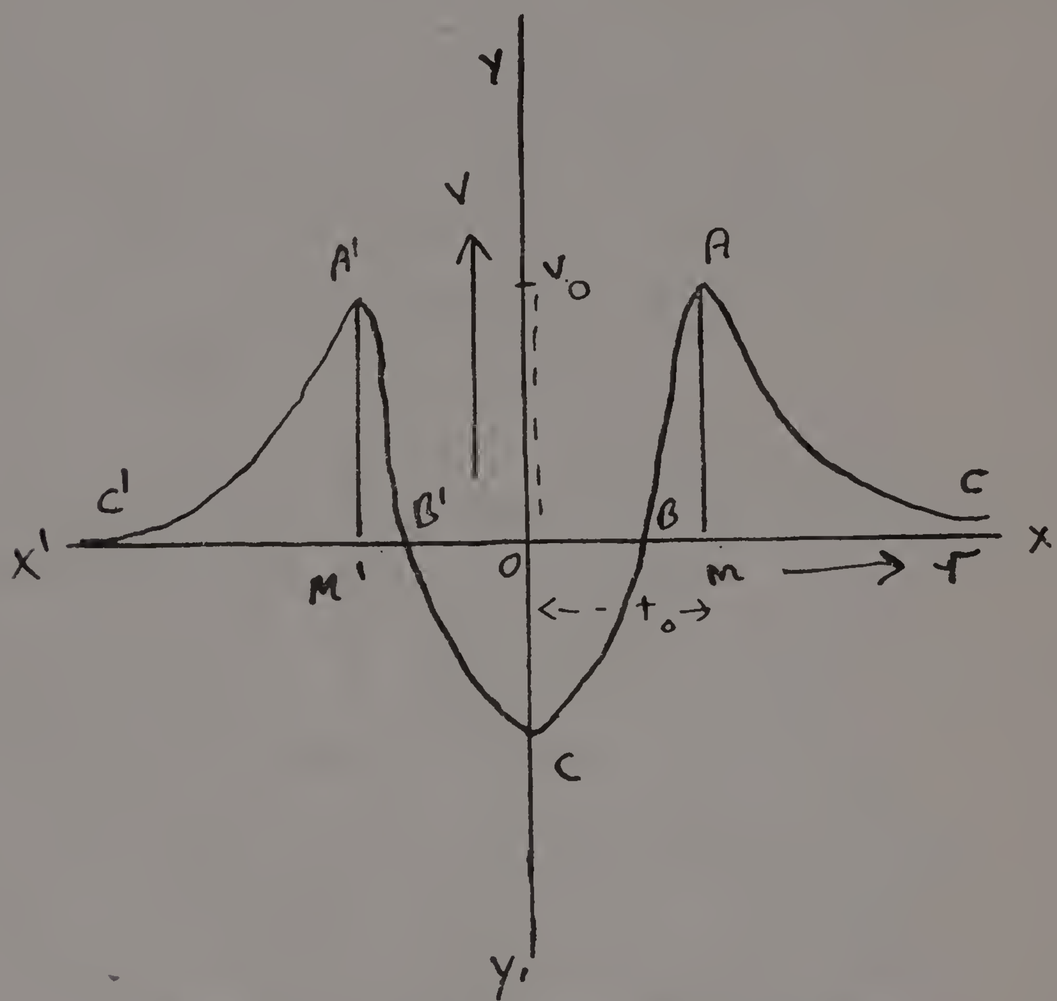
ಈ ಮೂರು ಆಕೃತಿಗಳನ್ನೂ ಪೂರಕ (Complementary) ಗಳಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಒಂದೊಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಕೆಲವು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಗುಣಗಳನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸಬಹುದು. ಆದರೆ ಸಮಗ್ರ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ಏಕೈಕ ಆಕೃತಿಯಿಂದ ಸಾಧಿಸಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ.

ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರತಿಬಂಧಕ ಗೋಡೆ (Potential Barrier)

ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ರಕ್ಷಿಸಲು ಅದರ ಸುತ್ತ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರತಿ ಬಂಧಕಗೋಡೆಯು ಇರುವಂತೆ ಭಾವಿಸುವುದು ಅನಿವಾರ್ಯವೆಂದು ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಯಾವ ಹೊರಗಿನ ಕಣವಾಗಲಿ, (α, p, n,...) ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಗರ್ಭವನ್ನು (Core) ಪ್ರವೇಶಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಅದಕ್ಕೆ ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿದ ತಡೆಯನ್ನು ದಾಟಿ ಹೋಗುವ ಸಾಮರ್ಥ್ಯವಿರಬೇಕು.

α–ಕಣಗಳ ಚದರುವಿಕೆಯ ಪ್ರಯೋಗದಿಂದ ಗೊತ್ತಿರುವ ಪ್ರಕಾರ ಆ ಕಣಗಳು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಕಡೆ ಚಲಿಸುತ್ತಿರುವಾಗ, ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ದೂರದವರೆವಿಗೆ ಮಾತ್ರ ಸಮೀಪಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಕೂಲಾಂಬ್ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್

ನಿರ್ಧರಿಸಿ ಅದರ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 10^{-12} ಸೆಂ.ಮೀ. ಎಂದು ತಿಳಿಸಿದನು. ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಯಾವುದೇ ಕಣವೇ ಆಗಲಿ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುವಾಗ, ಹೊರಕವಚಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು, ಬೀಜದ ಕಡೆ ಸಮೀಪಿಸುವಾಗ, ಅಪಕರ್ಷಕ (repulsive) ಬಲಗಳು ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ಅಂತರದವರೆವಿಗೂ ಹೋಗಬಹುದು. ಈ ದೂರವನ್ನು r_0 ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. r_0 ಗಿಂತ ಕಡಮೆ ದೂರಗಳಲ್ಲಿರುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯೇನು ಎಂಬುದನ್ನು ಅರಿಯಬೇಕಾಗಿದೆ–ಪರಮಾಣು ಭೇದನ ಪ್ರಯೋಗ ಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ಹೊರಗಿನಿಂದ ಬರುವ ಧನವಿದ್ಯುದಂಶ ಕಣಗಳೂ ಕೂಡ, ಧನವಿದ್ಯು ದಂಶದ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದೊಡನೆ ಲೀನವಾಗಿ ಒಂದು ಸಂಯುಕ್ತ ಕಣದಂತೆ ವರ್ತಿಸುವುದು ಹೇಗೆ ಸಾಧ್ಯ ?



ಚಿತ್ರ 8.12—ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ (ಗೋಡೆಯ) ರಚನೆ

ಈ ಪರಿಸ್ಥಿತಿಯನ್ನು ವಿವರಿಸಲು ಚಿತ್ರ (8-12) ದ ಸ್ವರೂಪವು ಸಹಾಯವಾಗು ತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಗೋಡೆಯ ಚಿತ್ರವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. OX ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ದೂರ (r)ವನ್ನು, OX ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವ (v) ವನ್ನೂ ಗುರುತಿಸಿದೆ–ಹೊರಗಿನಿಂದ ಬರುವ ಕಣವು ಬೀಜವನ್ನು ಸಮೀಪಿಸಿ r ಕಡಮೆ

ಯಾಗುತ್ತ ಹೋದರೆ, v ಪ್ರಮಾಣವು B A ರೇಖೆಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, ಜೂಪಾಗಿ ಏರುತ್ತದೆ. ಇದು $r = r_0 = OM$ ವರೆಗೆ ಇರುತ್ತದೆ. $r = r_0$ ಆದಾಗ, $v = v_0$ (AM) ಆಗಿ, ಉಚ್ಚಮಟ್ಟವನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತದೆ – ಇದಾದನಂತರ, ಅತ್ಯಲ್ಪ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ (BM) ರೇಖೆಯು ಬಹಳ ಘಟಕ್ಕನೆ ಇಳಿದು $v = o$ ಆಗುತ್ತದೆ.

B A ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಕೂಲಾಂಬ್ ನಿಯಮವು ಅನ್ವಯಿಸಿ $v = \frac{ze}{r}$ (ಬೀಜದ ಧನವಿದ್ಯು ದಂಶ = ze $r = r_0$ ಆದಾಗ $v_0 = \frac{ze}{r_0}$ ಇದಕ್ಕೆ ಸಮನಾದ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದರೆ ಮಾತ್ರ, ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣವು M ವರೆಗೆ ಬರಲು ಸಾಧ್ಯ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು ಒಂದು ಬಿಂದುವಿನಲ್ಲಿ ಕೇಂದ್ರೀಕೃತವಾಗದೆ ಅದಕ್ಕೆ ಒಂದು ವ್ಯಾಪ್ತಿಯ ಪ್ರದೇಶವಿದೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು.

$r = r_0$ ಆದಾಗ, ಅಪಕರ್ಷಣಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಆಕರ್ಷಕ ಶಕ್ತಿಗಳು ಉದ್ಭವಿಸುತ್ತವೆ. ಬೀಜ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿ (O) ಕ್ಷೇತ್ರ ಬಲವು ಶೂನ್ಯ (Intensity of the field) ವೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು ಹೀಗಾಗಿ, O ಕೇಂದ್ರದ ಸುತ್ತಲೂ ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ $r = +r_0$ ABC A'B'C' ಎಂಬ ಎರಡು ದೊಡ್ಡ ಗೋಡೆಗಳ ನಡುವೆ ಆಳವಾದ ಕಂದಕವಿರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ರಕ್ಷಣಾ ಕೋಟೆಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಜ್ವಾಲಾಮುಖಿ (crater of a volcano) ಯ ಆಂತರ್ಯಗುಳಿ ಎಂದು ತಿಳಿಸಬಹುದು.

$r = r_0$ ದೂರವನ್ನು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ತ್ರಿಜ್ಯವೆಂದು (Nuclear Radius) ಕರೆಯುಬಹುದು.

r_0 ಗಿಂತ ಕಡಮೆ ದೂರಗಳಲ್ಲಿ $(r < r_0)$ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲವನ್ನು $-\frac{a}{r^n}$ ಎಂದು ತಿಳಿಸಬಹುದು. (n = 4 ಎಂದು ಸೂಚಿಸಲಾಗಿದೆ.)

ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಆಂತರ್ಯ ಪ್ರದೇಶವನ್ನು ಗೋಳಾಕೃತಿಯೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ ಆದರ ತ್ರಿಜ್ಯವು R ಆದರೆ, ಪ್ರದೇಶದ ಗಾತ್ರವು ಒಟ್ಟು ಬೀಜಕಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು (A) ಅವಲಂಬಿಸುತ್ತದೆ.

$$R = R_0 . A^{\frac{1}{3}} \times 10^{-13} \text{ ಸೆಂ. ಮೀ} \quad \dots \quad 8{\cdot}29$$

1952 ರಲ್ಲಿ ಗ್ರೇವ್ಸ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ಪ್ರಕಾರ

$$R = R_0 . A^{\frac{1}{3}} + b. \quad \dots \quad 8{\cdot}30$$

ಇದರಲ್ಲಿ $R_0 = (1.4 \pm 0.1) \times 10^{13-}$; $b = 10^{-13}$ ಸೆಂ. ಮೀ $\times 1$

ಇದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಗಾತ್ರವಾದರೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ವಿಷಯವನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು.

ಪರಮಾಣುವಿನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (Atomic Weight) ಕ್ಕೂ ಅದರ ಬೀಜದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಕ್ಕೂ ವ್ಯತ್ಯಾಸವಿದೆ. z ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆಯ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಜೊತೆಗೆ ಅದರಲ್ಲಿರುವ z ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ತೂಕವನ್ನೂ ಸೇರಿಸಬೇಕು-ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು ಪರಮಾಣು ದ್ರವ್ಯಾಂಶಮಾನ (a.m.u.) ದಲ್ಲಿ ಪೂರ್ಣಾಂಕಗಳಿಗೆ ಅತಿ ಸಮೀಪದ ಸಂಖ್ಯೆಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ–

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ $_1H^1 = 1.00813$; $_2He_4 = 4.00408$

ಇದರಲ್ಲಿ $M = 1.00013$; $A = 1$ (ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ) $(M - A) = + \cdot 00813$

$M = 4 \cdot 00408$; $A = 4$ (ಹೀಲಿಯಂ) $(M - A) = + \cdot 00408$

ಇಲ್ಲಿ $(M - A)$ ಒಂದು ಧನ ಸಂಖ್ಯೆಯಾಗಿದೆ.

$_{10}Ne^{20}$ ಗೆ $M = 19 \cdot 9988$; $A = 20$; $(M - A) = - \cdot 0012$

$_{17}Cl^{35}$ ಗೆ $M = 34 \cdot 983$; $A = 35$; $(M - A) = - \cdot 017$

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲ ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಕೊರತೆ ಇರುತ್ತದೆ. (Mass defect) ಇದನ್ನು $\Delta = (M - A)$ ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಬಹಳ ಹಗುರ ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು (H, He) ಬಿಟ್ಟರೆ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ವಸ್ತುಗಳಿಗೂ Δ ಋಣ (negative) ವಾಗಿರುತ್ತದೆ ಅಂದರೆ $M < A$.

ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವನ್ನು ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ-ಶಕ್ತಿ ಸಮೀಕರಣದಿಂದ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು. ಮೂಲಭೂತ ಬೀಜ ಕಣಗಳಾದ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜವನ್ನು ರಚಿಸುವಾಗ ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿವಿನಿಮಯ (interchange of energy) ಕ್ಕೆ ಅವಕಾಶ ವಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ (Binding energy) ಯಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಬೀಜ ಕಣಗಳ ಬಂಧನದ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಗ್ರಹಣವೂ ಆಗಬಹುದು, ಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆಯೂ ಆಗಬಹುದು. ಈ ಶಕ್ತಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸವು ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯಿಂದಲೇ ಉಂಟಾಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಈ ಶಕ್ತಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಕೊರತೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ.

Δ = ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಕೊರತೆಯಾದರೆ, ಇದಕ್ಕೆ ಸಮನಾದ ಶಕ್ತಿವಿಸರ್ಜನೆ ಅಥವಾ ಶಕ್ತಿಗ್ರಹಣದ ಪ್ರಮಾಣವು $W = \frac{\Delta}{c^2}$ ($E = Mc^2$ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ)

... 831

ಈಗಾಗಲೇ, ವಸ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಯ ಸಮೀಕರಣಗಳನ್ನು ರೂಪಿಸುವಾಗ (q=) ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. ಅದರಲ್ಲಿಯೂ ಶಕ್ತಿ-ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯೇ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ.

ಇದನ್ನು ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ವಿಶದಪಡಿಸಬಹುದು.

ಒಂದು ಡ್ಯೂಟರಾನ್ ($_1H^2$) ಬೀಜದಲ್ಲಿ 1 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಇದೆ.

$$\begin{array}{ll} \text{ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್} = {}_0n^1 = 1.008665 & (\text{a.m.u.}) \\ \text{ಪ್ರೋಟಾನ್} = {}_1H^1 = 1.007825 & (-\ ") \\ \hline \text{ಒಟ್ಟು}\ \ {}_0n^1 + {}_1H^1 = 2.016490 & (") \\ \text{ಆದರೆ}\ \ {}_1H^2 = 2.014103 & \\ \hline {}_1H^2 - ({}_0n^1 + {}_1H^1) = -0.002387 & (\text{a.m.u.}) \end{array}$$

ಅಂದರೆ, ಈ ಕಣಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡುವುದರಿಂದ .002287 a. m. u. ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ನಾಶವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಸಮನಾದ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು

$$\begin{aligned} w &= (.00\,2387 \times 931)\ \text{M-E-V} \\ &= 2.22\ \text{Mev} \end{aligned}$$

ಇದೇ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯಾಗಿರುತ್ತದೆ.—ಅಂದರೆ, ಈ ಸಂಯುಕ್ತ ಬೀಜವನ್ನು ಮತ್ತೆ $_0n^1$ ಮತ್ತು $_1H^1$ ಗಳಾಗಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಬೇಕಾದರೆ, 2.22 Mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಒದಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ ಸ್ಥಿರಪಡಿಸಲಾಗಿದೆ—2.22 Mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಥವಾ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಿನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ γ ಕಿರಣಗಳು ಗ್ರಹಣವಾದರೆ, ಕಣಗಳು ಬೇರ್ಪಡುವುದು ಸಾಧ್ಯ.

ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಹೀಲಿಯಂ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಲ್ಲಿಯೂ

$$\begin{array}{l} {}_2He^4 = 4.002604\ \text{a.m.u} \\ 2\,{}_0n^1 + 2\ {}_1H^1 = 4.03298\ \ ,, \\ \hline \text{ವ್ಯತ್ಯಾಸ} = .030376\ \text{a. m. u.} \end{array}$$

ಇದಕ್ಕೆ ಸಮನಾದ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯು $.030376 \times 931 = 28.3$ Mev ಇದನ್ನು 4 ಬೀಜಕಣಗಳಿಗೆ ಹಂಚಿದರೆ, ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ ಬಂಧಕದ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 7 Mcv. ಆಗುತ್ತದೆ.

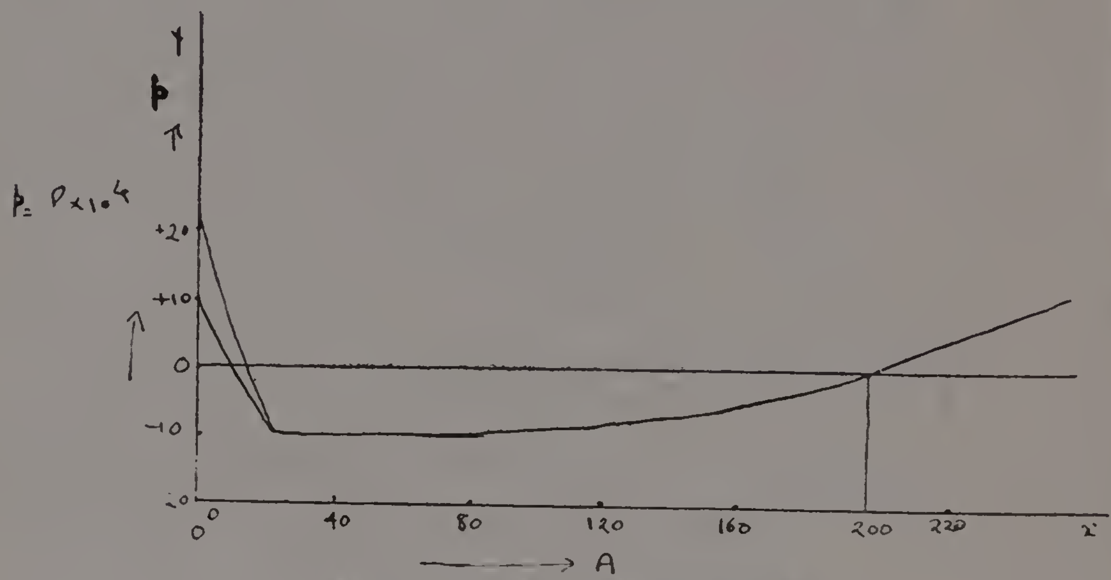
ವಿವಿಧ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಈ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತ ಹೋಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ವಿಷಯವನ್ನು ಮತ್ತೆ ಪ್ರಸ್ತಾಪಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ $\triangle = M - A =$ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಕೊರತೆಯಾದರೆ

$$\frac{\Delta}{A} = P = \text{ಸಂಗ್ರಹ ಭಿನ್ನಾಂಕ (Packing Fraction)}$$

$$= \frac{M-A}{A} \qquad \dots \quad 8.32$$

ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವಂತೆ, P, A ಗಳ ನಡುವಣ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಸೂಚಿಸುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 8.13. ಜೋಡಣೆಯ ಭಿನ್ನಾಂಶ

ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ $p = P \times 10^4$ oy ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿಯೂ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (Mass Number) ಯನ್ನು o x ಅಕ್ಷರದಲ್ಲಿಯೂ ಗುರುತಿಸಿದೆ.

ಅತಿ ಹಗುರವಾದ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಅತಿ ಭಾರವಾದ ($A > 200$) ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿಯೂ, $M > A$ ($p =$ ಋಣ) ಇರುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳ ಮಧ್ಯೆ ಇರುವ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ $M < A$. ಇವುಗಳಿಗೂ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಗೂ ನೇರವಾದ ಸಂಬಂಧವಿದೆ, ಇದನ್ನು ಮುಂದೆ ವಿಶದಪಡಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

8.11. ಪರಮಾಣುವಿದಲನ (Nuclear Fission)

ಪರಮಾಣು ವಿಜ್ಞಾನದ ಇತಿಹಾಸದಲ್ಲಿ 1939 ವರ್ಷವು ಬಹಳ ಮಹತ್ವಪೂರಿತವಾದುದು. ಆ ವರ್ಷದಲ್ಲಿಯೂ ನಂತರ ಕೆಲವು ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಮಾಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಒಂದು ಅನಿರೀಕ್ಷಿತ ಪರಿಣಾಮವು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು ಮಾನವನ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಕ್ರಾಂತಿಯನ್ನೇ ಎಬ್ಬಿಸಿತು. 1945 ರಲ್ಲಿ ಜಪಾನಿನ ಎರಡು ನಗರಗಳಾದ ಹಿರೊಷಿಮಾ, ನಾಗಸಾಕಿ; ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬಿನ ಧಾಳಿಗೆ ತುತ್ತಾಗಿ ಸಂಪೂರ್ಣ ನಾಶವಾದವು. ಎರಡನೆಯ ಮಹಾಯುದ್ಧವೂ ಕೊನೆಗೊಂಡಿತು—ಇಂದಿಗೂ ಆ ಭೀಕರ ದೃಶ್ಯಗಳ ನೆನಪು ನಮ್ಮೆಲ್ಲರನ್ನೂ ತಲ್ಲಣಿಸುತ್ತದೆ.

ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅತಿಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೊರಗೆಡಹುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾದಮೇಲೆ, ಆಗ ನಡೆಯುತ್ತಿದ್ದ ಮಹಾಯುದ್ಧದಲ್ಲಿ ಇದನ್ನೇ ಶೇಖರಿಸಿ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬ್ ಎಂಬ ಮಾರಕ ಅಸ್ತ್ರದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಅಮೆರಿಕ ಉಪಯೋಗಿಸಿತು. ಯುದ್ಧವು ಮುಗಿದ ನಂತರ ಅದೇ ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Nuclear Reactor) ಎಂಬ ಸಾಧನವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದರಿಂದ ನಮ್ಮ ನಿತ್ಯ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ಹಲವಾರು ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಪಡೆಯಲು ಸಹಾಯಕವಾಗಿದೆ.

ಆದ್ದರಿಂದ, ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬ್ ಮತ್ತು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳನ್ನು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಶಕ್ತಿಯ ದುರ್ಮಾರ್ಗ ಮತ್ತು ಸನ್ಮಾರ್ಗ ಪ್ರವರ್ತಕ ವಿಧಾನಗಳೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ತನ್ನ ವಿವೇಚನಾ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ಮಾನವನು ಸನ್ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ ಶ್ರೇಯಸ್ಸನ್ನೂ ಕೆಟ್ಟಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಬಳಸಿದರೆ ಅಳಿವನ್ನೂ ಹೊಂದುತ್ತಾನೆ.

ಇಂಥ ಸಂಭವಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ವೈಜ್ಞಾನಿಕ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೂ ಸ್ವಾಭಾವಿಕವಾದುವು. ಪ್ರಕೃತದಲ್ಲಿ ನಾವು ವಿಮರ್ಶಿಸಬೇಕಾದುದು ಕೇವಲ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ. ಫಲಗಳ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಮಾನವನ ವಿವೇಚನೆಗೆ ಬಿಡಬೇಕು.

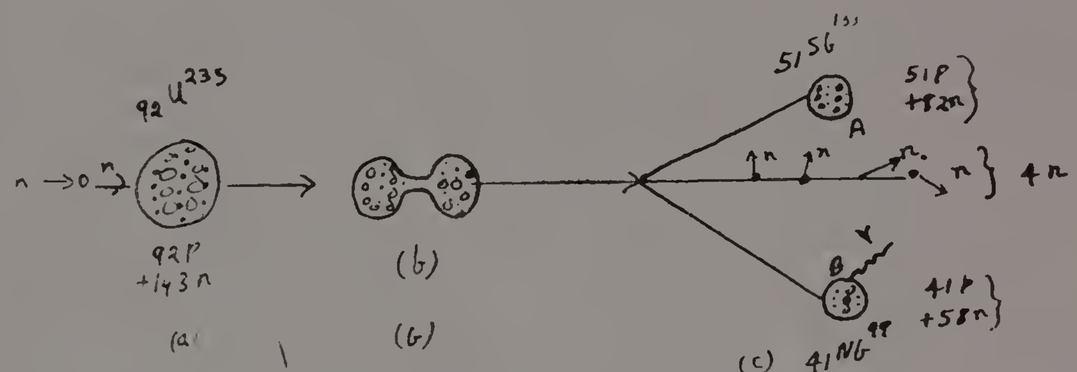
1937 ರಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿ (Fermi), ಸೆಗ್ರೆ (Segre) ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಆಘಾತಕ್ಕೆ ಒಳಪಡಿಸಿದರು. ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಸ್ತುಗಳ ಸಮೀಕ್ಷೆಯಿಂದ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕೆಲವು ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳು ಕಂಡುಬಂದವು. ಯುರೇನಿಯಂ (ಪರಿಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ $z=92$) ಗಿಂತ ಆಚೆ $z=93$, $z=94$, . . ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳು ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟವು.

1939 ರಲ್ಲಿ, ಜರ್ಮನಿಯ ಹಾನ್ (Hahn), ಮೈಟ್ ನರ್ (Meitner) ಮತ್ತು ಸ್ಟ್ರಾಸ್ ಮನ್ (Strass man) ಒಂದು ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದರು. ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದನಂತರ, ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ರಾಸಾಯನಿಕ ಪರೀಕ್ಷೆಗಳಿಗೆ ಒಳಪಡಿಸಿದರು. ಈ ಸಮೀಕ್ಷೆಯಿಂದ ಅವರು ಕಂಡುಹಿಡಿದ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಸಂಗತಿಯೇನೆಂದರೆ : ಹೊಸದಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಆವರ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದ

ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಕಂಡುಬಂದವು–ಇದಾದನಂತರ, ಪ್ರಪಂಚದ ಹಲವಾರು ಸಂಶೋಧನಾಲಯಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇದೇ ಮಾದರಿಯ ಪರಿಣಾಮಗಳು ವರದಿಯಾದವು.

ಈ ಎಲ್ಲ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳೇನೆಂದರೆ :– (i) ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಅಲ್ಪಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿರುವ ಸಮಸ್ಥಾನಿ $_{92}u^{235}$ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು ಒಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ ಒಂದು ಹೊಸ ಸಂಯುಕ್ತ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. (ii) ಈ ಹೊಸ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು ಬಹಳ ಅಭದ್ರಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿದ್ದು, ಸುಮಾರಾಗಿ ಸಮಾನ ತೂಕವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳಾಗಿ ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಈ ಸಂಭವವು ಜೀವ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಜೀವಕೋಶ (cell) ವು ವಿಭಾಗವಾಗುವ ರೀತಿಯನ್ನು ಹೋಲುವುದರಿಂದ ಇದಕ್ಕೆ ಪರಮಾಣುಬೀಜವಿದಲನ (Nuclear Fission) ಎಂದು ಹೆಸರು ಇಡಲಾಗಿದೆ.

ಈ ಸಂಭವವು ಉಂಟಾಗುವ ರೀತಿಯು ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 8.14 ಪರಮಾಣುವಿದಲನ

$_{92}u^{235}$ ಬೀಜದಲ್ಲಿ 92 p ಮತ್ತು 143 n. ಇವೆ (a)

ಇದಕ್ಕೆ 1 n ಸೇರಿದರೆ 92 p ; 144 n ಆಗುತ್ತದೆ (b)

ಹೊರಬೀಳುವ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳು A, B ಆದರೆ, ಇವುಗಳು ಅಪಾರ ವೇಗದಿಂದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರದೂಡಲ್ಪಡುತ್ತವೆ (c) ಇವುಗಳ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ 4 ಬಿಡಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದ γ ಕಿರಣಗಳೂ ಇರುತ್ತವೆ. ಎರಡು ತುಂಡುಗಳಾದ A, B ಗಳು ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳನ್ನು ಹೋಲುತ್ತವೆ. ಎಲ್ಲವೂ ಒಂದೇ ವಿಧವಾಗಿ ಇರದೆ, ಇಂಥ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ರಚನೆಯು A, B ತುಂಡುಗಳೂ ಹೊರಬೀಳುವ ಸಾಧ್ಯತೆಯಿದೆ.

ಆಸ್ಫೋಟನೆಯ ನಂತರ	A ವಸ್ತುವು $_{51}Sb^{133}$ (ಆಂಟಿಮನಿ ಆದರೆ)	51 p, 82 n
	B ,, $_{41}Nb^{99}$ (ನಿಯೋಬಿಯಂ)	41 p, 58 n
	ಬಿಡಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು	4 – n
	ಒಟ್ಟು	92 p, 144n

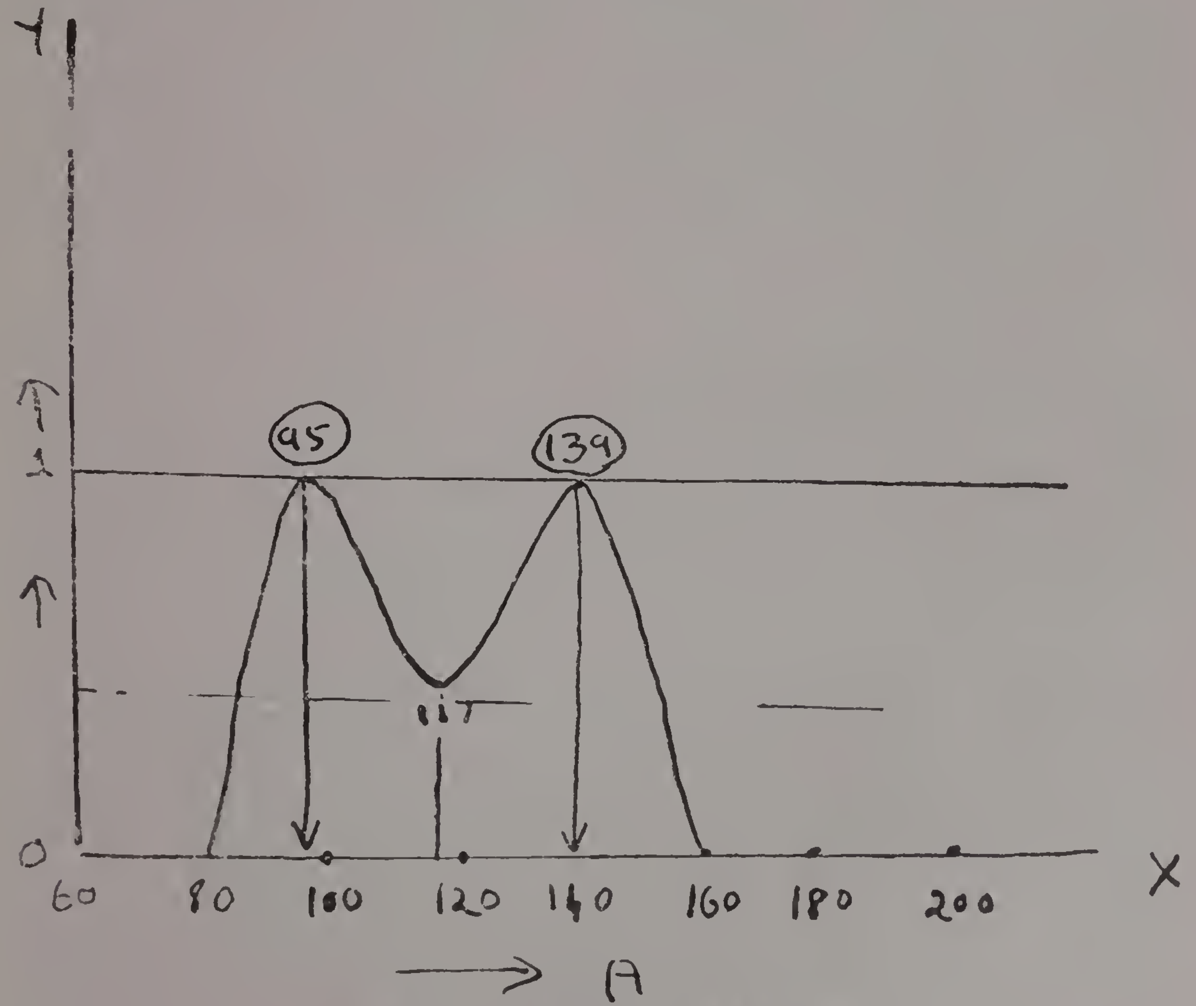
ಇದು ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೆ ಪೂರ್ವಭಾವಿ ರಚನೆಗೆ ಸರಿಹೋಗುತ್ತದೆ.

$$_{92}u^{235} + {_0}n^1 \rightarrow {_{51}}Sb^{133} + {_{41}}Nb^{99} + 4{_0}n^1 + Q \quad \ldots \quad 8.1$$

ಇದರ ಹಾಗೆಯೇ ಮತ್ತೊಂದು ಸಾಧ್ಯತೆಯೂ ಇದೆ. ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಮೇಲೆ ಹೊರಬೀಳುವ ವಸ್ತುಗಳು ಬೇರಿಯಂ, ಕ್ರಿಪ್ಟಾನ್ ಆಗಬಹುದು.

$$_{92}u^{235} + {_0}n^1 \rightarrow {_{92}}u^{236} \rightarrow {_{56}}Ba^{141} + {_{36}}kr^{92} + 3{_0}n^1 + Q \quad 8{\cdot}2$$

ಹೊರಬೀಳುವ ವಸ್ತುಗಳನ್ನೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದು ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಅಳೆಯಲು ವಿಲ್ಸನ್ ಮೇಘ ಮಂದಿರ ಚಿತ್ರಗಳು ಬಹಳ ಸಹಾಯಕ ವಾಗಿವೆ—ಉತ್ಪನ್ನ ವಸ್ತುಗಳು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳು ಎಲ್ಲವನ್ನೂ ನಿಖರವಾಗಿ ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲಾಯಿತು.



ಚಿತ್ರ 8.15 ಪರಮಾಣು ಆಸ್ಫೋಟನೆ

ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವಸ್ತುಗಳ ತೂಕಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಅಳೆಯಲಾಗಿದೆ. ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ (A) ಮತ್ತು ತುಂಡುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ ಇವೆರಡನ್ನೂ OX OY ಅಕ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಿ, ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಎಳೆದರೆ, ಅದರ ಸ್ವರೂಪವು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಂತಿರುತ್ತದೆ.

A = 75 ಇಂದ A = 90 ವರೆಗೆ ರೇಖೆಯು ಬಹಳ ಕಡಿದಾಗಿ ಏರಿ, A = 145 ನಿಂದ 160 ವರೆಗೆ ಅಷ್ಟೇ ಚೂಪಾಗಿ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ.

ಎರಡು ಶೃಂಗಗಳೂ A = 95 ; A = 139 ಆಗಿದ್ದು, ಈ ಸಂಭವವೇ ಅತ್ಯಂತ ಸಂಭವ ನೀಯತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. A = 117 ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಈ ಸಂಭನೀಯತೆಯೂ ಅತಿ ಕನಿಷ್ಠ ಮಟ್ಟವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತದೆ.

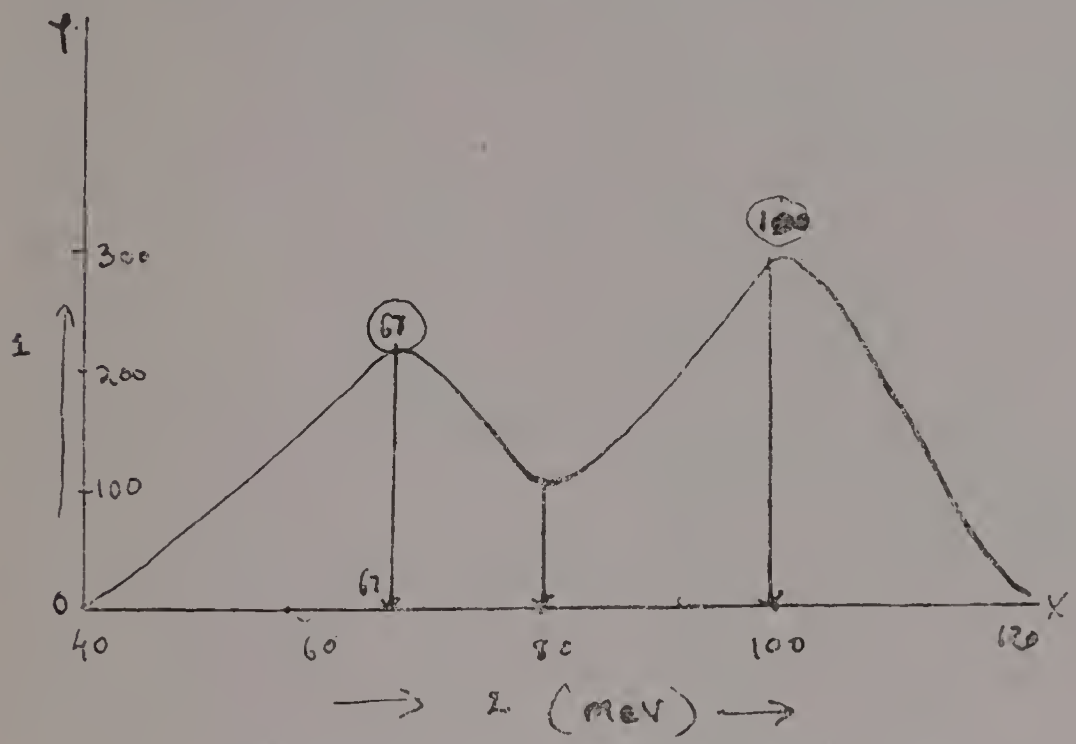
ಈ ವಿದಲನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು

(i) ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿu^{238}, u^{235}, u^{234} ಎಂಬ ಮೂರು ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳಿದ್ದು ಅವುಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಕ್ರಮವಾಗಿ 99·28% ; 0·714% 0·006% — ಇವೆಲ್ಲವೂ a ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ $_{92}u^{235}$ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಒಳಹೊಕ್ಕು ಅದರಲ್ಲಿ ಲೀನವಾಗಿ, ಒಂದು ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯ ಸಂಯುಕ್ತ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುತ್ತದೆ ನಂತರ ಇನು ಆಸ್ಫೋಟನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ.

(ii) ಈ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ಮೂಲ ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿದಲನ ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಎರಡು ದೊಡ್ಡ ತುಂಡುಗಳು (Fragments) ಅತಿ ರಭಸದಿಂದ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ಹೊರಗೆಡಹಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು, 95, 140 ರ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲದೆ ಸರಾಸರಿ 2.5 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ.

(iii) ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಾದ ಅತ್ಯಂತ ಕಡಮೆ ಕಾಲ ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 99% ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದು, ಕೆಲವು ಸೆಕೆಂಡುಗಳ ನಂತರ ಉಳಿದ 1% ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಮೊದಲು ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಸಲೀಸು (Prompt) ಕಣಗಳೆಂದೂ, 1% ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ವಿಲಂಬಿತ ಕಣಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ—ಈ ವಿಲಂಬಿತ ಕಣಗಳು ಹೊರಬೀಳುವ ತುಂಡುಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುತ್ತವೆ.

(iv) ಎಲ್ಸನ್ ಮೋಘ ಮಂದಿರದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ, ವಿದಲನದಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ವಿವಿಧ ತುಂಡುಗಳ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯಲಾಗಿದೆ—ಎರಡು ತುಂಡುಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಎರಡು ಅಕ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಿ



ಚಿತ್ರ 8.16 ವಿದಲನ ತುಂಡುಗಳ ಶಕ್ತಿ ಹಂಚಿಕೆ

ರೇಖೆಯನ್ನು ಎಳೆದರೆ, ಅದರ ರೂಪವು ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿರುವಂತೆ (8·16) ಕಂಡುಬಂದಿದೆ. ಇದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವುದೇನೆಂದರೆ, ಒಟ್ಟು ತುಂಡುಗಳಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು ಅರ್ಧ ಭಾಗವು 67 Mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಳಿದ ಅರ್ಧ ಭಾಗವು 100 Mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಎರಡು ಶಕ್ತಿಗಳೂ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿರುವ ಶೃಂಗಗಳನ್ನು (Peaks) ತೋರಿಸುತ್ತವೆ.

ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನೂ ಅಳೆದ ನಂತರ, ಅವುಗಳ ಅತ್ಯಂತ ಸಂಭವನೀಯ ಶಕ್ತಿಯು 0.7 Mev ಎಂದೂ, ಸರಾಸರಿ ಶಕ್ತಿಯು 2 Mev ಎಂದೂ ತಿಳಿದು ಬಂದಿದೆ. ಸರಾಸರಿ ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು 6 Mev ಆದಂತಾಯಿತು. ಇದಲ್ಲದೆ ಒಂದು ಪರಮಾಣ ಬೀಜವು ($_{92}u^{235}$) ವಿದಲನ ಹೊಂದಿದರೆ, ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ γ-ಕಿರಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 23 Mev.

ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿದಲನದಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯು ಹೀಗೆ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ

ಎರಡು ದೊಡ್ಡ ವಿದಲಿತ ತುಂಡುಗಳು	171 Mev
ಮೂರು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು	6 Mev
γ-ಕಿರಣಗಳು	23 Mev
ಒಟ್ಟು	200 Mev

(v) ಈಗ ಈ 200 mev ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಲು ಮೂಲಕಾರಣ ವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕಾದರೆ ನಾವು ವಿದಲನಕ್ಕೆ ಪೂರ್ವ ಭಾವಿಯಿದ್ದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ವನ್ನೂ ಕ್ರಿಯೆಯನಂತರ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎರಡು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನೂ ಲೆಕ್ಕಮಾಡಿ ಅವುಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು.

ಪೂರ್ವಭಾವಿ ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ

$_{92}u^{235}$ =	235. 044	*a·m-u*
$_{0}n^{1}$ =	1. 009	*a·m-u*
ಒಟ್ಟು	236. 053	*a.m-u*

ಒಂದು ಮಾದರಿಯ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯ ನಂತರ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳ (100, 133 ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು) ಆಗಿದ್ದರೆ

ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ =	232. 812
3 $_{0}n^{1}$ =	3. 026
ಒಟ್ಟು	235. 838

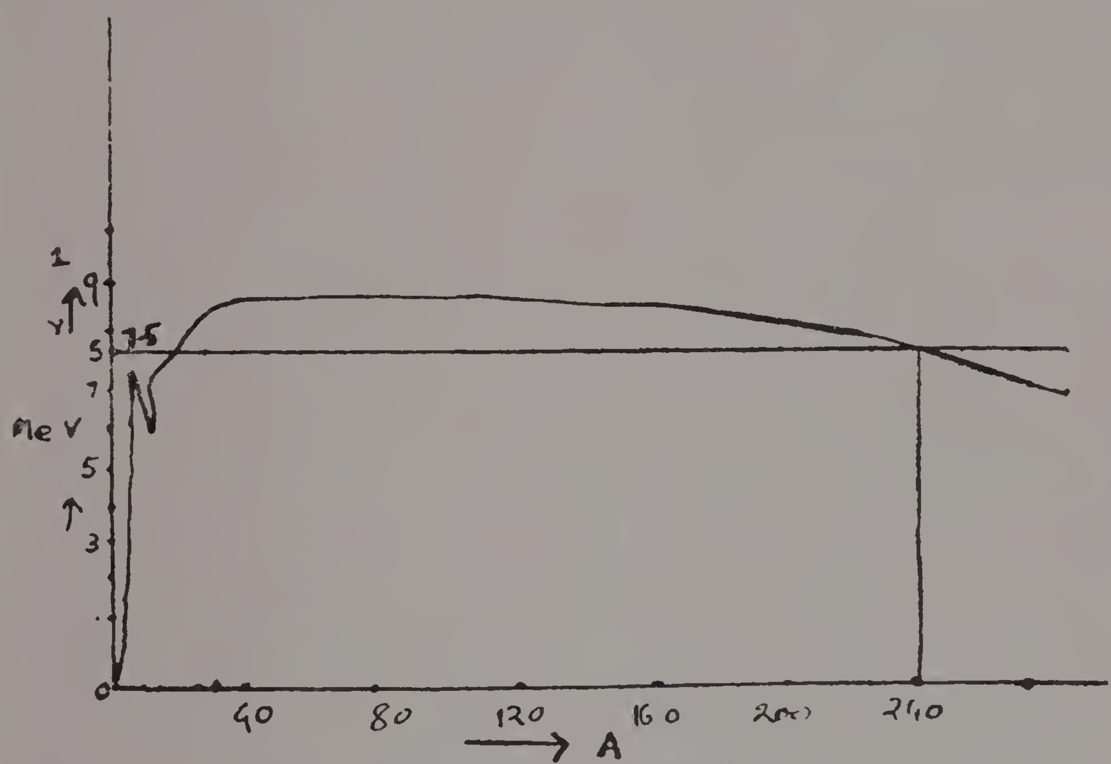
ಅಂದರೆ, ಈ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉಂಟಾಗಿರುವ ಕೊರತೆಯ 0. 215 *a.m-u* ಇದನ್ನು ಶಕ್ತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತಿಸಿದರೆ, ಅದು (0.125 × 931 mev) = 200 mev ಆಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಫಲಿತಾಂಶಗಳಿಗೆ ಸಮನಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವಿದಲಿನ ಕ್ರಿಯೆಯು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ-ಶಕ್ತಿಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಪರಿವರ್ತನೆಗೆ ಒಂದು ನಿದರ್ಶನವಾಗಿಯೂ, ಐನ್ ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣದ ಸಮರ್ಥನೆಯಾಗಿಯೂ ಇರುತ್ತದೆ.

(vi) ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದ ಆಕೃತಿಯನ್ನು ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಲು ಭೋರ್ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಸಹಕಾರಿಯಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ದ್ರವ-ಹನಿ ಆಕೃತಿ (Liquid-drop model) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಬೀಜ ಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳನ್ನು ದ್ರವದ ಅಣುಗಳ ನಡುವೆ ಏರ್ಪಡುವ ಬಲಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸ ಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಮೇಲ್ಮೈಕರ್ಷಕ ಬಲವನ್ನು (Surface Tension) ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ.

ಈಗ $_{92}u^{235}$ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ 92 ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, 143 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಅಡಗಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಬೀಜಕಣಗಳ ಪರಸ್ಪರ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಒಂದೇ ರೀತಿಯಿರುತ್ತವೆ-ಇಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ಕಣಗಳಿರು

ವಾಗ ನಾವು, ಗಾತ್ರ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ (Valume binding energy) B_v ಮೇಲ್ಮೈ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ (B_s) ಗಳನ್ನು ಲೆಕ್ಕಕ್ಕೆ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಇದರ ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು (B_v–B_s) - ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವಣ ಕೂಲಾಂಬ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಗಮನಿಸಿದರೆ, ಇವುಗಳು ಅಪಕರ್ಷಕವಾದ್ದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಕಳೆಯಬೇಕು. (B_c) - ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅಧಿಕಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿರುವ ಈ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದೊಡನೆ ಹೊಂದಿರುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯು ಕಡಮೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ (B_a).

ಇವುಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಭದ್ರತೆಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು (B_v-B_s-B_c-B_a) ಎಂದು ಸೂಚಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು B ಎಂದು ಕರೆದರೆ, ಇದರ ಮೌಲ್ಯವು ಒಂದು ಬೀಜಕಣಕ್ಕೆ ಸುಮಾರು 7-9 mev ಆಗುತ್ತದೆ - ಪುನರಾವೃತ್ತಕ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿರುವ ವಿವಿಧ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಅವುಗಳ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳ ಬಂಧನ ಶಕ್ತಿಯು ಹೇಗೆ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು (8.17) :



ಚಿತ್ರ. 8.17 ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ

ಪರಮಾಣು ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು (A) oy ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಬೀಜ ಕಣಕ್ಕೆ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು (B) mev ಮಾನದಲ್ಲಿ ox ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಿದರೆ, ನಾವು ರಚಿಸುವ ರೇಖಾ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವುದು ಏನೆಂದರೆ, A = 40 ವರೆವಿಗೆ, ಕೆಲವು ಏರಿಳಿತಗಳ ನಂತರ B ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 8.5-9 mev ವರೆಗೆ ಏರುತ್ತದೆ. ನಂತರ, ಸುಮಾರು A = 200 ವರೆವಿಗೆ, ಇದರ ಸರಾಸರಿ

ಮೌಲ್ಯವು 8.5 mev ಆಗಿದ್ದು, ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಭಾರವಾದ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಇದರ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 7.5 mev ಗೆ ಇಳಿಯುತ್ತದೆ.

8.12 ಸರಪಳಿ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆ (Chain Reaction)-ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬ್ (A-Bomb)

ಒಂದೊಂದು ಯುರೇನಿಯಂ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವೂ ವಿದಲನ ಹೊಂದಿದಾಗ ಸುಮಾರು 2-3 ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ, 200 mev ಶಕ್ತಿಯೂ ಹೊರಗೆಡಹಲ್ಪಡುತ್ತದೆಂದು ತಿಳಿದಿದ್ದಾಗಿದೆ-ಈ ವಿದಲನದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಒಂದೊಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಮತ್ತೆ ಇನ್ನೊಂದು u^{235} ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಹೊಸ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಹೊಸ ಶಕ್ತಿಯೂ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, ಒಂದೊಂದು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಹೊರಬಿದ್ದನಂತರ ಮತ್ತೆ ಪರಮಾಣು ವಿದಲನಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ಒಂದು ಸರಪಳಿಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಸ್ವಯಂ ಜನಕ (self-propagating) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಆದರೆ, ಇದನ್ನು ಸಫಲಗೊಳಿಸಲು ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಕ್ರಮಗಳನ್ನು ಕೈಕೊಳ್ಳಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಮುಖ್ಯಾಂಶಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ.

(i) ಸಾಮಾನ್ಯ ಯುರೇನಿಯಂ u^{238} ಪರಮಾಣುಬೀಜವನ್ನು ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಒಳಪಡಿಸುವುದು ನೇರವಾದ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಆಗುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ ಇದರಲ್ಲಿ $\frac{1}{140}$ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ ಅಡಗಿರುವ $_{92}u^{235}$ ಪರಮಾಣುಬೀಜವನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಕಣಗಳಿಂದ ಭೇದಿಸಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಮೂಲ ಅದುರಿನಿಂದ $_{92}u^{235}$ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಮಾತ್ರ ವಿಶೇಷ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಬೇಕು. ಇದು ಬಹಳ ಶ್ರಮವೂ ಅತಿವೆಚ್ಚ ತಗಲುವ ಕೆಲಸವೂ ಆಗಿದೆ - ಸಮಾರು 10,000 ಟನ್‌ಸಾಧಾರಣ ಯುರೇನಿಯು ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ನಮಗೆ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ದೊರಕುವ u^{235} ಪ್ರಮಾಣವು 100kg ಮಾತ್ರ.

(ii) $_{92}u^{235}$ ಪರಮಾಣುಬೀಜವನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು (ಸುಮಾರು 0.04 ev ಶಕ್ತಿ) ಬೇಕು. ವಿದಲನದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಎಲ್ಲ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳೂ ಮತ್ತೆ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳಬೇಕಾದರೆ, ಅವುಗಳು ಹೊರಗಡೆ ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳದಂತೆ ವ್ಯವಸ್ಥೆ ಮಾಡಬೇಕು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು u^{238} ಪರಮಾಣುವಿನೊಂದಿಗೆ ಗ್ರಹಣವಾಗುವುದರಿಂದಲೂ, ಅವುಗಳ ಕೊರತೆಗೆ ಕಾರಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯು

ಸರಾಗವಾಗಿ ಮುಂದುವರೆಯಲು, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗುಣಕ ಸಂಖ್ಯೆ (k) [Multiplication factor] ಯು 1ಕ್ಕಿಂತ ಸ್ವಲ್ಪ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವಂತೆ ಮಾಡಬೇಕು. k ಅಂದರೆ, ಹೊಸದಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ, ಮೊದಲೇ ಬಿಡಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಾಗಿ ಇರುವ ಸಂಖ್ಯೆಗೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ಸಂಖ್ಯೆ.

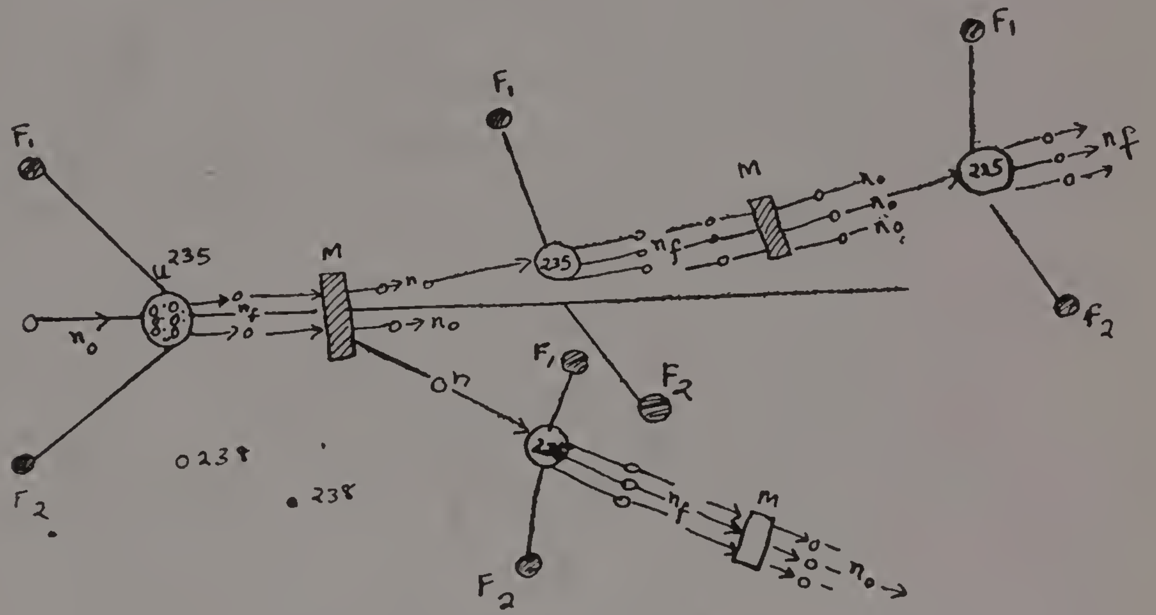
ಹೀಗೆ ವ್ಯವಸ್ಥೆ ಮಾಡುವಾಗ, ಬರೀ, $_{92}u^{235}$ ಪರಮಾಣುಬೀಜಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರುವಂತೆ ಆದರೆ, ಅದರ ವಸ್ತುವನ್ನು ಒಂದು ಗೋಳಾಕೃತಿಯಲ್ಲಿಡುವುದು ಸೂಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಒಂದು ಉತ್ಕಟ ಗಾತ್ರ (critical size) ವಿರಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಮೀರಿದರೆ, ಅತಿಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ, ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಾಗುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಆ ಗಾತ್ರವನ್ನು ಮೀರದಿದ್ದರೆ, ಸುಭದ್ರ ಸ್ಥಿತಿ ಇದ್ದು ಸ್ವಯಂಸ್ಫೋಟಕಸ್ಥಿತಿಯು ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ವಿದಲನಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಆದಷ್ಟು ತೆಗೆದುಹಾಕುವುದು ಸಹಕಾರಿಯಾಗುತ್ತದೆ.

(iii) ಮತ್ತೊಂದು ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಅತಿವೇಗ (fast) ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳು $_{92}u^{235}$ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ವಿದಲನಮಾಡಲಾರವು ಆದರೆ u^{238} ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನುಹೊಕ್ಕು ಗ್ರಹಿಸಲ್ಪಟ್ಟು $_{94}Pu^{239}$ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬಹುದು

$$_{92}u^{238} + {_0}n^1 \rightarrow {_{92}}u^{239} + h\nu.$$
$$_{92}u^{239} \rightarrow {_{93}}Np^{239} + {_{-1}}e^0 \quad (T = 23 \text{ ನಿಮಿಷ})$$
$$_{93}Np^{29} \rightarrow {_{94}}Pu^{239} + {_{-1}}e^0 \quad (T = 2.3 \text{ ದಿವಸ})$$
$$_{94}Pu^{239} \underset{\alpha}{\rightarrow} {_{92}}u^{235} + {_2}He^4 \quad (T = 2.5 \times 10^4 \text{ ವರ್ಷಗಳು}) \quad \ldots \quad 8.3$$

ಈ ಸಮೀಕರಣಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, u^{238} ಪರಮಾಣುಬೀಜದಿಂದ ವೇಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಗ್ರಹಣವಾದರೆ, ಅತಿ ಶೀಘ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾ ಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆಯಿಂದ ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ $_{94}Pu^{239}$ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ– $_{92}u^{238}$ಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಹೊಂದುತ್ತದೆ. $_{94}Pu^{239}$ ರಚನೆಯು $_{92}u^{238}$ ಗಿಂತ ಭಿನ್ನವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಇವುಗಳನ್ನು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಸುಲಭ – ರಾಸಾಯನಿಕ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸಾಧ್ಯ. ಮತ್ತು ಪ್ಲುಟೋನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ಆಧಾರವನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡರೆ ಅದನ್ನು ವೇಗ ಮತ್ತು ಮಂದ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಂದ ವಿದಲನ ಗೊಳಿಸಬಹುದು. ಈ ಕಾರಣಗಳಿಂದ ಇತ್ತೀಚಿನ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ $_{92}u^{235}$ಗೆ ಬದಲಾಗಿ $_{94}Pu^{239}$ ವಸ್ತುವನ್ನು ಬಳಸುವುದು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿದೆ.

(iv) $^{9}{}_{2}u^{235}$ ವಸ್ತುವನ್ನೇ ವಿದಲನಮಾಡಲು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಲು ಫರ್ಮಿ (Fermi) ಯು ಒಂದು ಹೊಸ ವಿಧಾನ ವನ್ನು ಸೂಚಿಸಿದ್ದಾನೆ. ಈ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ u^{238} ವಸ್ತುವು ಇದ್ದರೂ ತೊಂದರೆಯಿಲ್ಲ. ಈ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿ $_{12}u^{135}$ ಪರಮಾಣುವಿನ ವಿದಲನದಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ವೇಗವನ್ನು ಕಡಿಮೆಮಾಡಿ ಮಂದಗೊಳಿಸುವಂತೆ (Moderator) ಒಂದು ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇದು ಡ್ಯೂಟೀರಿಯಂ $_{1}D^{2}$, ಹೀಲಿಯಂ, ಇಂಗಾಲ (carbon) ಆಗಿರಬಹುದು. ಭಾರನೀರಿನಲ್ಲಿ ಬೆರಿಲಿಯಂ (Heavy water) ಡ್ಯುಟೇರಿಯಂ ಇರುವುದರಿಂದ ಅದನ್ನೇ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಉಪ ಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಹಾಗೂ, ಗ್ರಾಫೈಟ್ (graphite) ಕೂಡ ಉಪಯೋಗಕ್ಕೆ ಬರುತ್ತದೆ. ಈ ವಸ್ತುವಿನ ಮೂಲಕ ವೇಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹಾಯುವಾಗ, ಅವುಗಳ ವೇಗವು ಕಡಿಮೆಯಾಗಿ ಮತ್ತೆ $_{92}u^{235}$ ಪರಮಾಣುವನ್ನು ಭೇದಿಸಲು ಸಾಧಕವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ವಿಧಾನದ ರೀತಿಯನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರವು ವಿವರಿಸುತ್ತದೆ. ... 8.5

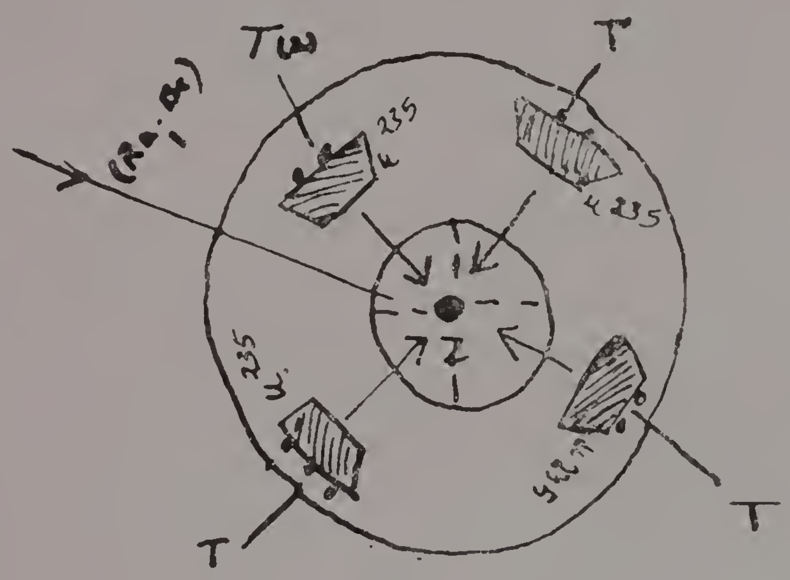


ಚಿತ್ರ-8-18 ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆ

ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ F_1, F_2 ಗಳು ವಿದಲನದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ತುಂಡುಗಳು, n_f – ವೇಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು, n_o ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳುM ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತು (Moderator).

ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬ್ : ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆಯ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ರಚಿಸಲ್ಪಟ್ಟ ಸ್ಫೋಟಕ ವಸ್ತುವೇ A ಬಾಂಬ್ ಎನಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದರ ವಿಶೇಷವೇನೆಂದರೆ, ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ (10^{-6} ಸೆಕೆಂಡ್) ಉಂಟಾಗುವ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಅತ್ಯಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿ ಉಷ್ಣಾಂಶದ

ಏರಿಕೆಯು ಸುಮಾರು 20 ಮಿಲಿಯನ್ ಡಿಗ್ರಿಗಳಷ್ಟು ಆಗಬಹುದು. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ವೇಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ವಿಧಾನವನ್ನು ಕೈಗೊಳ್ಳಲಾಗುತ್ತದೆ. ವಿಧಾನ ಹೊಂದತಕ್ಕ ವಸ್ತುವನ್ನು ಎರಡು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಗಟ್ಟಿ (Blocks) ಗಳನ್ನಾಗಿಟ್ಟುಕೊಂಡು, ಒಂದೊಂದರ ಗಾತ್ರವೂ ಉತ್ಕಟ ಪ್ರಮಾಣಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾಗಿರಬೇಕು. ದೂರನಿಯಂತ್ರಣ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಿಂದ ಈ ಎರಡು ತುಂಡುಗಳನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿದರೆ, ಅವುಗಳ ಒಟ್ಟು ಗಾತ್ರವು ಉತ್ಕಟ ಗಾತ್ರಕ್ಕಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ (critical size) ರುವುದರಿಂದ ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದು ಗಟ್ಟಿಯನ್ನೂ ಮೊದಲು ಒಂದು ಭಾರವಾದ ಆವರಣದಿಂದ (Tamper) ಹೊದಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಗುಣಗಳು ಇರುತ್ತವೆ. ಒಂದು ಹೊರಗೆ ಹೋಗದಂತೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ತಡೆಯುವುದು. ಸ್ವಯಂ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯಿಂದ ತಪ್ಪಿಸುವುದು. $_{94}PU^{239}$, $_{92}U^{235}$ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ ಇವುಗಳ ಗಾತ್ರಗಳು ಅಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದಿಲ್ಲ.



ಚಿತ್ರ 8·19 ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬು

ಮೇಲಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ 4 ಗಟ್ಟಿಗಳು ಮೊದಲು ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಉತ್ಕಟ ಗಾತ್ರಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆ ಗಾತ್ರದವು. ಆಸ್ಫೋಟನೆಗಳ್ಳುವ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಈ ಗಟ್ಟಿಗಳ ಹಿಂದೆ (T) ಒಂದು ವಸ್ತು (TNT) ವನ್ನು ಆಸ್ಫೋಟಿಸಿದರೆ, ಈ ಗಟ್ಟಿಗಳು ಕೇಂದ್ರದಲ್ಲಿರುವ N ಕಡೆಗೆ ಹೋಗಿ ಅಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡುತ್ತವೆ. ಅಲ್ಲಿ N ಎಂಬುದು Ra-Be ಮೂಲವಸ್ತುವಾಗಿದ್ದರೆ, ಅದರಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುವ U^{235} ಗಟ್ಟಿಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಿಸಿ, ಅಗಾಧವಾದ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯು ಬಾಂಬ್ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉಂಟಾಗಬಹುದು.

16–7–1945 ರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಮೆಕ್ಸಿಕೋವಿನಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಲಿಫೋರ್ನಿಯ ವಿಶ್ವ ವಿದ್ಯಾಲಯದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳ ನಿರ್ದೇಶನದಲ್ಲಿ ಪ್ರಪ್ರಥಮ ಪರಮಾಣು ಬಾಂಬ್ ಸಿಡಿಯಿತು. ಆದರಲ್ಲಿ $_{92}U^{235}$ ಮಾತ್ರ ಇದ್ದಿತು. ಇತ್ತೀಚೆಗೆ ಪ್ಲೂಟೋನಿಯಂ ವಿಶೇಷ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿದೆ.

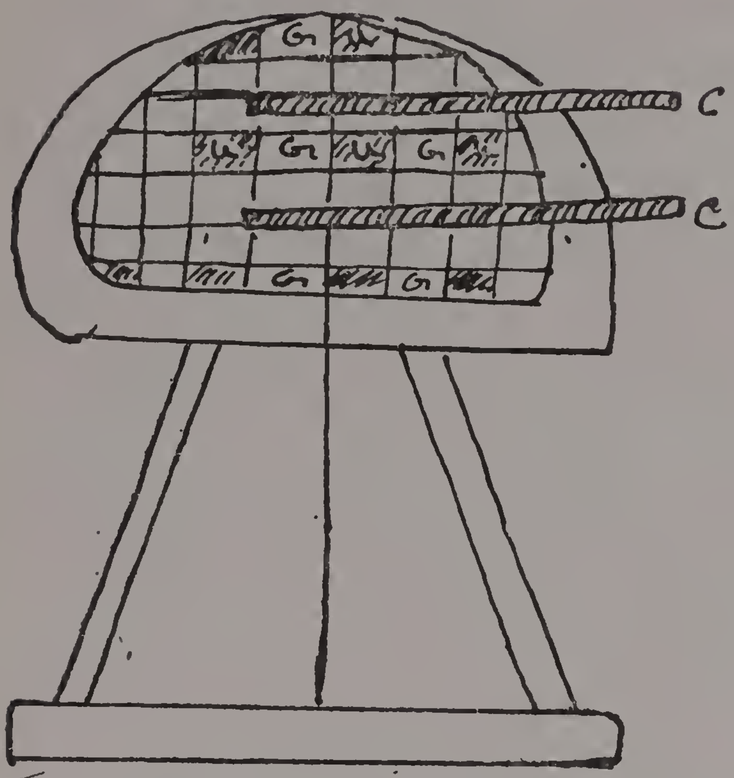
8.13 ಪರಮಾಣುಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Nuclear Reactor)

ಪರಮಾಣುಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸಂಗ್ರಹಿಸಿ, ವಿನಾಶಕಾರಕವಲ್ಲದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ, ಹಲವಾರು ಉಪಯೋಗಕರವಾದ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸುವ ಸಾಧನಕ್ಕೆ ಪರಮಾಣು ಸಂಚಯ (Atomic Pile) ಅಥವಾ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Nuclear Reactor) ಎಂದು ಹೆಸರು.

ಈ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನೂ ಸ್ವಯಂ ಧಾರಕ (Self-supporting) ಹಾಗೂ ನಿಯಂತ್ರಿತ ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದು ಕುಲುಮೆಯೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಇದಕ್ಕೆ ಇಂಧನವು ಯುರೇನಿಯಂ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದರ ಉತ್ಪನ್ನಗಳು ಶಾಖ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳು.

ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳಲ್ಲಿ ಹಲವು ಮಾದರಿಗಳೂ, ಗಾತ್ರಗಳೂ ಮತ್ತು ಆಕಾರ ಗಳೂ ಇರಬಹುದು. ಎಲ್ಲ ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ವಿದಲನಗೊಳ್ಳತಕ್ಕ ವಸ್ತುವು ಒಂದು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿದ್ದು, ವಿದಲನಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ವೇಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗಳನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಬೇಕು. ವಿದಲನದನಂತರ ಹೊರಬೀಳುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ವೇಗವು ಸುಮಾರು 2 Mev ಇದ್ದರೆ, ಅದನ್ನು 0.025 ev ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ 2200 ಮೀಟರ್‌ಗಳಷ್ಟು ಇಳಿಸಿದರೆ, ಈ ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಗಳು U^{235} ಪರಮಾಣುಬೀಜವನ್ನು ವಿದಲನಗೊಳಿಸಲು ಸಹಾಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ವೇಗವನ್ನು ಇಳಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಒಂದು ಮಂದಕಾರಕ (moderator) ವಸ್ತುವಿನ ಮೂಲಕ ಹಾಯಿಸಿ, ಅದರ ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವನ್ನು ಕೊಡಬೇಕು. ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ, ಈ ಮಂದಕಾರಕ ವಸ್ತುಗಳು ಮೂರು ಬಗೆಯಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಸಾಮಾನ್ಯನೀರು, ಭಾರ ನೀರು (D_2o) ಮತ್ತು (ಇಂಗಾಲ) ಗ್ರಾಫೈಟ್ ತಂಡಗಳು (Blocks).

ಪ್ರಪ್ರಥಮವಾಗಿ ಇಂಥ ಒಂದು ಉಪಕರಣವನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಿದ್ದು ಚಿಕಾಗೋ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಯಲ್ಲಿ (ಡಿಸೆಂಬರ್ 1942) ಇದರ ಅಂಗಗಳ ಮುಖ್ಯಾಂಶ ಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 8·20 ಪರಮಾಣುಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಯಂತ್ರ

ಇದರ ಆಕೃತಿಯು ಒಂದು ಅಂಡಗೋಳ (Spheroid) ದಂತೆ ಇದ್ದಿತು. ಇದರಲ್ಲಿ ಗ್ರಾಫೈಟ್ ತಂಡಗಳಿಂದ ಸ್ತರಸ್ತರವಾಗಿ (layers) ಕಟ್ಟಲ್ಪಟ್ಟ ಒಂದು ಪೇರಿಕೆ (pile). ಇದರೊಳಗೆ ಪರ್ಯಾಯ (alternate) ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಘನ ಚೌಕಟ್ಟುಗಳಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಗಟ್ಟಿಗಳನ್ನು ಹುದುಗಿಡಿಸಿದೆ (embedded). ಇದನ್ನು U ಎಂದು ತೋರಿಸಿದೆ. ಇವುಗಳೊಳಗೆ, ರಂಧ್ರಗಳೊಳಗೆ C ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ (cadmium) ಸರಳುಗಳನ್ನು ಆಳವಡಿಸಿದೆ. ಇವು ಗಳನ್ನು ನಿರೋಧಕ (arrestors) ಗಳೆಂದು ಗಣಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಒಳಗೆ ನೂಕುವುದರಿಂದಲೂ, ಹೊರಗಡೆಗೆ ಎಳೆಯುವುದರಿಂದಲೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ನಿಯಂತ್ರಣ ಮಾಡಬಹುದು. ಇದೂ ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದ ಅಂಗ. ಇದರಿಂದಲೇ, ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಶಕ್ತಿ ಯನ್ನು ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಸಂಗ್ರಹವನ್ನು ಹದಗೊಳಿಸಲು, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಉತ್ಪತ್ತಿಯ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ನಿಯಂತ್ರಣ ಮಾಡುವುದು ಅತಿ ಮುಖ್ಯವಾದುದು. ಸರಪಳಿಕ್ರಿಯೆಯು ಸರಾಗವಾಗಿ ಸಾಗ ಬೇಕಾದರೆ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪುನರುತ್ಪತ್ತಿ ಸಂಖ್ಯೆ (Reproduction factor) (K)ಯು 1 ಆಗಿರಬೇಕು. ಕಡಮೆಯಾದರೆ, ಶಕ್ತಿಸಂಗ್ರಹವಾಗದೆಯೂ, $K > 1$ ಆದರೆ, ಆಸ್ಫೋಟನೆಯ ಸಂಭವವೂ ಉಂಟಾಗಬಹುದು.

ಒಂದೊಂದು ಮೈಕ್ರೋ ಸೆಕೆಂಡಿನಲ್ಲಿಯೂ (10^{-6} ಸೆಕೆಂಡ್) ಲಕ್ಷಾಂತರ ವೇಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತಲೇ ಇರುತ್ತವೆ. ಒಂದೊಂದು ಬೀಜದ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಸುಮಾರು 2.5, ನೂಟ್ರಾರ್ನಗಳು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುತ್ತಲೇ ಇರುತ್ತವೆ – ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 60% ಕಣಗಳು ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಪುನಃ ಉಪಯೋಗವಾಗದ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಮಾಯವಾಗುತ್ತಿವೆ – ಹೀಗೆ ಮಾಯವಾಗಲು ಮಾರ್ಗಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ – ಉಪಕರಣದ ಮೇಲ್ಮೈನಿಂದ ತಪ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುದು. (ಸುಮಾರು 28%) u^{235}, u^{238} ಗಳಿಂದ ಗ್ರಹಣ (ಸುಮಾರು 30%) ವಿದಲನದಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಭಾರ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಗ್ರಹಣ (ಸುಮಾರು 2%), – ಇನ್ನುಳಿದ 40% ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಮಂದಗಾಮಿಕರಣಗಳು u^{235}, ಬೀಜವನ್ನು ತಾಕುವುದು (38%); Pu^{239} ಬೀಜದೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆ (1%), ಮತ್ತು u^{235}, u^{238} ಗಳೊಂದಿಗೆ ವೇಗ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಘರ್ಷಣೆ 1%.

ಅಳೆಯುವ ಸಾಧನೆಗಳ ಮೂಲಕ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯನ್ನು ಸಮತೋಲನದಲ್ಲಿಡುವುದು ಮುಖ್ಯವಾದ ಕೆಲಸ. ಇದಕ್ಕಾಗಿ, ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ಸರಳುಗಳ ಮೂಲಕ ನಿಯಂತ್ರಣ ಮಾಡುವುದು.

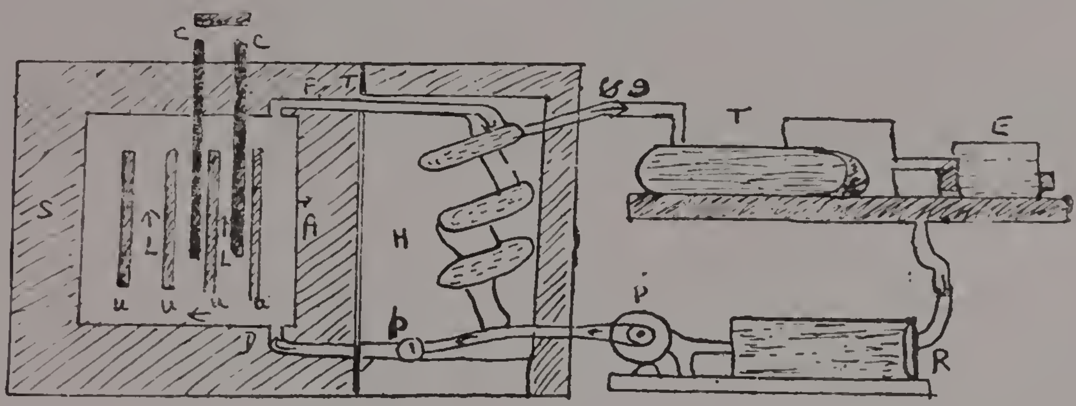
ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವಿನ ತುಂಡುಗಳನ್ನು ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂನಿಂದ ಲೇಪಗೊಳಿಸುತ್ತಾರೆ – ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಶಾಖವನ್ನು ಸೂಕ್ತಉಪಕರಣಗಳ ಮೂಲಕ ತೆಗಯುತ್ತಲಿರಬೇಕು. ಇದಕ್ಕಾಗಿ ಶೀತಕ (coolants) ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುತ್ತಾರೆ. ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳ ನಿರ್ಮಾಣದಿಂದ ಹೊರ ಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳು ಬಹಳ ಅಪಾಯಕರವಾದುದರಿಂದ, ಅವುಗಳನ್ನು ತಡೆಗಟ್ಟಲು ಇಡೀ ಕಟ್ಟಡದ ಹೊರಗಡೆ ಹಲವು ಅಡಿಗಳ ದಪ್ಪದ ಕಾಂಕ್ರೀಟ್ ಗೋಡೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಬೇಕು.

ಇಂಥ ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳ ಮುಖ್ಯ ಉಪಯೋಗಗಳು ಯಾವುವೆಂದರೆ : (1) ಶಾಸ್ತ್ರೀಯ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು (2) ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳನ್ನು ತಯಾರಿಸುವುದು ಮತ್ತು (3) ವಿದ್ಯುತ್ ಜನಕ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣ ಮಾಡುವುದು. ಈಗ ಶಕ್ತಿ ಜನಕ (Power Reactor) ಯಂತ್ರದ ಒಂದು ಮಾದರಿಯ ರಚನೆಯನ್ನು ಸ್ಥೂಲವಾಗಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

8.14 ಶಕ್ತಿಜನಕ ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು (Power Plants)

ಮೇಲೆ ನಿರೂಪಿಸಿರುವ ಯುರೇನಿಯಂ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಆಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಲಾಭದಾಯಕವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದನ್ನು ಶಕ್ತಿ ಜನಕ ಉಪಕರಣ ಮುಖ್ಯ ತತ್ತ್ವ.

ಇದರಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸತಕ್ಕ ಯುರೇನಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ u^{235} ನಿಂದ ಪುಷ್ಟಿಗೊಳಿಸಬೇಕು (Enriched) – ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುವ ಶಾಖವನ್ನು ಒಂದು ಹದವಾದ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿಡಲು ಕ್ಯಾಡ್ಮಿಯಂ ನಿಯಂತ್ರಣ ಸರಳುಗಳನ್ನು (c) ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಅಳವಡಿಸಬೇಕು. ಒಳಗೆ ನೂಕಿದರೆ, ಉಷ್ಣವು ಕಡಮೆಯುೂ, ಎಳೆಯುವುದರಿಂದಲೂ, ಉಷ್ಣವೃದ್ಧಿಯುೂ ಆಗುವುದು.



ಚಿತ್ರ 8.21 ಶಕ್ತಿ ಜನಕ ಯಂತ್ರ

A ಎಂಬುದು (ಚಿತ್ರ 8.21) ಒಳಗಡೆಯಿರುವ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ ಉಪಕರಣ, ಅದರ ಸುತ್ತಲೂ ದಪ್ಪವಾದ ರಕ್ಷಣೆಯ ಗೋಡೆಯನ್ನು (Shield) – 5 – ಕಟ್ಟಿ ಇರುತ್ತದೆ – A ಒಳಗಡೆ u,u ಎಂಬುವು ಇಂಧನ ವಸ್ತು (u) ವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಆಸರೆಗಳು.

ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ಅಪಾರ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಾಖವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು, ಒಂದು ಶಾಖವಿನಿಮಯ ಸಾಧನ (H) ವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದ 'p' ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಪಂಪಿನ ಮೂಲಕ ಕಡಮೆ ಉಷ್ಣಾಂಶದ ಒಂದು ದ್ರವವನ್ನು (L) A ಉಪಕರಣವನ್ನು D ನಾಳಿಕೆಯ ಮೂಲಕ ಪ್ರವೇಶಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿ, ಅದರ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ ಅಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರುವ ಶಾಖವನ್ನು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡಿ, F ಮೂಲಕ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ ಅತಿ ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಅದರ H ನಾಳಿಕೆಗಳ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಅದರ ಒಳಭಾಗದಲ್ಲಿ ಹರಿಯುತ್ತಿರುವ ನೀರು ಅಥವಾ ಬೇರೆ ಯಾವುದೇ ದ್ರವವಿದ್ದರೆ ಅದನ್ನು ಆವಿ ಅಥವಾ ಅನಿಲ ರೂಪಕ್ಕೆ ತರುತ್ತದೆ. ಈ ನೀರಿನ ಆವಿಯು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಒತ್ತಡದಲ್ಲಿದ್ದು T ಎಂಬ ಜಲಚಕ್ರ (Turbine) ಯಂತ್ರದ ಮೂಲಕ ಹಾಯ್ದು ನಂತರ ಅದಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿರುವ E ವಿದ್ಯುತ್ ಜನಕವನ್ನು ಸಕ್ರಿಯೆಗೊಳಿಸುತ್ತದೆ. ಹೀಗಾಗಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಜನಕದಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿ ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಶಾಖವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಂಡು ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಗೊಳಿಸಬಹುದು.

ಟರ್ಬೈನ್ (T) ನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ನೀರು ಶೀತಕ (condenser) ಕ್ಕೆ ಹೋಗಿ ಅಲ್ಲಿಂದ ಮತ್ತೆ ಪಂಪಿ (P) ನ ಮೂಲಕ H ಆಲಯದ ನಾಳಿಕೆಗಳೊಳಗೆ ಹರಿಯುತ್ತದೆ – ಶಾಖವನ್ನು ಎಳೆಯಲು ಸೂಕ್ತವಾದ ಶೀತಕ ವಸ್ತು (coolant) ವು ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿರಬೇಕು ಎಂಬುದನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಬೇಕು. ಅದು ಹೆಚ್ಚು ಉಷ್ಣಾಂಶ ಗಳನ್ನು ತಡೆಯುವಂತೆಯೂ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡದಂತೆಯೂ ಇರ ಬೇಕು – ಕಡಮೆ ಕರಗುವ ಬಿಂದು (melting points) ಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕೆಲವು ಲೋಹಗಳು ಶೀತಕಗಳಾಗಿರಲು ಯೋಗ್ಯವಾಗಿರುತ್ತವೆ-ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಲ್ಲಿಯೂ ಶಾಖವಿನಿಮಯ ಯಂತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ ದಕ್ಷತೆಯಿಂದ ಶಾಖವನ್ನು ವರ್ಗಾಯಿಸುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು.

ಈಜುಕೊಳ ಕ್ರಿಯಾಕಾರಿ (Swimming-pool Reactor) ಯು ಒಂದು ಮಾದರಿಯ ಯಂತ್ರವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಸಾಮಾನ್ಯ ನೀರನ್ನೇ ರಕ್ಷಕ ಕೋಟೆಯಂತೆ ವರ್ತಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದೆ – ಒಂದು ನೀರಿನ ಕೊಳದಂತಿರುವ ಆವರಣದ ಕೆಳಭಾಗದಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂ ಮತ್ತು ಜಿರ್‌ಕೋನಿಯಂ ಹೈಡ್ರೈಡ್ (ಮಂದಕಾರಕ) ಮಿಶ್ರಘಾನ ಸರಳುಗಳೇ ಇಂಧನಗಳಂತೆ ಅಳವಡಿಸಿರುತ್ತವೆ. ನಿಯಂತ್ರಣ ಸರಳುಗಳು ಜಿಂಕ್‌ಕಾರ್ಬೈಡ್ (zinc carbide) ಇಂದ ತಯಾರಿಸಲ್ಪಟ್ಟವು. ಇದರಿಂದ ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿ (Radio-isotopes) ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ–ಬೇಕಾದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಒಳಕ್ಕೆ ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ನೂಕಿ ಅದನ್ನು ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆಯಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅದರಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ ಉತ್ಪನ್ನ ವಾಗುತ್ತದೆ.

ಭಾರತದಲ್ಲಿಯೂ ಈಗಾಗಲೇ ಟ್ರಾಂಬೆ, ತಾರಾಪೂರ್, ಕಲ್ಪಕಂ ಮುಂತಾದ ಪ್ರದೇಸಗಳಲ್ಲಿ ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಗಳು ಸ್ಥಾಪಿತವಾಗಿ ಕೆಲಸಮಾಡುತ್ತಿವೆ – ವಿದ್ಯುತ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕೂಡ ಉತ್ಪತ್ತಿಮಾಡಿ, ನಗರ ಪ್ರದೇಶಗಳಿಗೆ ಸರಬರಾಜು ಮಾಡುವ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಭಾರಿನೀರನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಯಂತ್ರವೂ, 1000 KW ಶಕ್ತಿಯ ಈಜುಕೊಳದ ಮಾದರಿಯೂ ಇವೆ.

ನಾಟಿಲಸ್ ಮತ್ತು ಸೀ ವುಲ್ಫ್ ಎಂಬ ಜಲಾಂತರ್ಗಾಮಿ (Submarines) ಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಜನಕ ಯಂತ್ರಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸ ಲಾಗಿದೆ – ಈ ಯಂತ್ರಗಳಿಂದ, ಪ್ರಪಂಚದ ಸುತ್ತ ಒಂದು ಪ್ರದಕ್ಷಿಣಮಾಡಲು ಬೇಕಾಗುವಷ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದಂತೆ - ಇನ್ನೂ ಮುಂದಕ್ಕೆ, ಮೋಟಾರ್ ವಾಹನಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಜಲನೌಕೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಆಕಾಶ ವಿಮಾನಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಪರಮಾಣು ಶಕ್ತಿಯಿಂದಲೇ ಓಡಿಸಬಲ್ಲ ಯಂತ್ರಗಳು ಬಳಕೆಗೆ ಬರುವ ಕಾಲವು ಸನ್ನಿಹಿತವಾಗಿದೆ.

8.15 ರೇಡಿಯೋ-ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಯಾವ ಸುಭದ್ರ ರಚನೆಯ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಲಿ, ಪ್ರೇರೇಪಿತ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊಂದುವಂತೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಹೀಗೆ ಕೃತಕ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ γ–, β– ಕಿರಣಗಳನ್ನು ನಾವು ಸೂಕ್ತವಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿಕೊಳ್ಳಬಹುದು. ಬೀಜಕ್ರಿಯಾಕಾರಿಯಂತ್ರಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ನಾವು ಯಾವ ವಸ್ತುವನ್ನಾಗಲ್ಲಿ ಒಳಗಾಗಿಸಿದರೆ, ಅದರ ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ತಯಾರುಮಾಡಿದಂತಾಗುವುದು.

ಇಂಥ ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಶುದ್ಧ ವಿಜ್ಞಾನದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಅದಕ್ಕಿಂತಲೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಮಾನವನ ನಿತ್ಯ ಜೀವನದ ವೈದ್ಯಕೀಯ, ತಾಂತ್ರಿಕ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಉಪಯುಕ್ತ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಬಹಳ ಮುಖ್ಯಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ದೇಹದ ಯಾವ ಭಾಗದಲ್ಲಿಯಾದರೂ, ಸೂಕ್ತ ಉಪಕರಣಗಳಿಂದ ಪ್ರವೇಶಮಾಡಿಸಿ, ಸಮೀಕ್ಷೆ ನಡೆಸಬಹುದು. ಮಾನವನ ದೇಹ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ (Physiology) ಈ ವಿಧಾನವು ವಿಶೇಷ ಬಳಕೆಯಲ್ಲಿದೆ–ಸೂಕ್ತವಾದ ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಯನ್ನು ಸೂಚಕ (Tracer) ದಂತೆ ಉಪಯೋಗಿಸುವುದರಿಂದ, ರೋಗಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಿ ನಿವಾರಣೋಪಾಯಗಳನ್ನು ಕೈಕೊಳ್ಳಲು ಸಹಾಯವಾಗಿದೆ.

ರಂಜಕ (Phosphorus), ಸೋಡಿಯಂ, ಕಬ್ಬಿಣ, ಕ್ಯಾಲ್ಸಿಯಂ, ಮತ್ತು ಅಯೋಡಿನ್ ಇವುಗಳ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಬಹಳ ಮುಖ್ಯವಾದುವು. ರೇಡಿಯೋ ಕೋಬಾಲ್ಟ್ (Co^{60}) ನಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ γ– ಕಿರಣಗಳಿಂದ ಕ್ಯಾನ್ಸರ್ (Cancer) ವ್ರಣವ್ಯಾಧಿಗೆ ಆಶ್ಚರ್ಯಕರವಾದ ಪರಿಹಾರವು ಸಿಕ್ಕಿದಂತಾಗಿದೆ. ರೇಡಿಯೋ ಚಿನ್ನ (Au^{198}) ಕೂಡ, ಸೂಜಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ತಾಕುವಂತೆ ಮಾಡಬಹುದು. ಜೀವಕೋಶಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ. ವ್ಯವಸಾಯ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ರೇಡಿಯೋ ಕಾರ್ಬನ್ (C^{13}) ಬಹಳ ಉಪಯುಕ್ತವಾಗಿದೆ. ತಾಂತ್ರಿಕ ವಿಜ್ಞಾನ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿಯೂ, ನೂರಾರು ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ರೇಡಿಯೋ ಸಮಸ್ಥಾನಿಗಳು ಬಹಳ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲ್ಪಡುತ್ತಿವೆ– ಎಲ್ಲಕ್ಕಿಂತಲೂ ಮುಖ್ಯವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ ;– ಈ ವಿವಿಧ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳು ಸುಲಭ ದರದಲ್ಲಿ ನಿರ್ಮಿತವಾಗಲು ಸಾಧ್ಯವಿರುವುದರಿಂದ ಜನಸಾಮಾನ್ಯಕ್ಕೆ ಬಹಳ ಉಪಕಾರವಾಗಿದೆ.

8.16 ಪರಮಾಣು ಸಂಯೋಜನೆ (Nuclear Fusion)

ಪರಮಾಣು ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಯುರೇನಿಯಂನಂಥ ಅತಿ ಭಾರವಾದ ವಸ್ತುವನ್ನು ಮಂದಗಾಮಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಘರ್ಷಣೆಗೆ ಒಳಗಾಗಿಸಿ, ಅಗಾಧವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರುವುದನ್ನು ಇದುವರೆವಿಗೂ ವಿಮರ್ಶಿಸಿದ್ದಾಗಿದೆ. ಮತ್ತೊಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಹಗುರವಾದ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಸಂಯೋಜನೆಯ ವಿಧಾನದಿಂದಲೂ, ಅತ್ಯಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ ಪರಮಾಣುಗಳು, ಜಲಜನಕ ಡ್ಯೂಟೇರಿಯಂ, ಲಿಥಿಯಂನಂಥಹ ಹಗುರ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದುವು. ಒಂದು ಅವಶ್ಯಕವಾದ ನಿಬಂಧನೆ ಏನೆಂದರೆ, ಈ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳನ್ನು ಸಂಯೋಜನೆ ಮಾಡುವಾಗ, ಆವರಣದ ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಸುಮಾರು 2 ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳಷ್ಟು ಇರಬೇಕು. ಇಷ್ಟು ಅಗಾಧವಾದ ಶಾಖವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮಾಡುವುದು ಕಷ್ಟವಾದರೂ, ಪರಮಾಣು ವಿದಲನದಲ್ಲಿ ಇದೇ ಪ್ರಮಾಣದ ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗುವುದರಿಂದ ಅದನ್ನೇ ಈ ಶಾಖ—ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆ (Thermo-nuclear reaction) ಗೆ ಅಳವಡಿಸಬಹುದು. ಹೀಗೆ ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಸಂಯೋಜನೆಯಿಂದ ಉತ್ಪತ್ತಿಯುಪ ಶಾಖದಿಂದ H–ಬಾಂಬ್ (ಜಲಜನಕ–ಬಾಂಬ್) ನಿರ್ಮಿಸಬಹುದು. ಇದರ ವಿನಾಶಕ ಶಕ್ತಿಯು A- ಬಾಂಬ್‌ಗಿಂತ ಸುಮಾರು 1000 ಪಾಲು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬಹುದೆಂದು ಊಹಿಸಲಾಗಿದೆ.

1952 ರಲ್ಲಿ ಅಮೆರಿಕದಲ್ಲಿ 'MOKe' ಎಂಬ ಹೆಸರಿನ ಪ್ರಪ್ರಥಮ H ಬಾಂಬನ್ನು ಆಸ್ಫೋಟಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರ ಮಾರಕ ಶಕ್ತಿಯು 30 ಲಕ್ಷ ಟನ್ T.N.T. ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೆ ಸಮವಾಗಿದ್ದಿತಂತೆ. ಹಲವಾರು ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಇರಬಹುದಾದ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಸಾಧ್ಯತೆಗಳನ್ನೂ ಕೆಳಗೆ ಸೂಚಿಸಿದೆ.

$$
\begin{aligned}
{}_1H^2 + {}_1H^2 &\rightarrow {}_2He^3 + {}_0n^1 + 4 \text{ Mev.} \\
{}_1H^2 + {}_3Li^6 &\rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + 22.1 \text{ Mev.} \\
{}_1H^1 + {}_3Li^7 &\rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + 17.5 \text{ Mev.}
\end{aligned}
\qquad \ldots \quad 8.4
$$

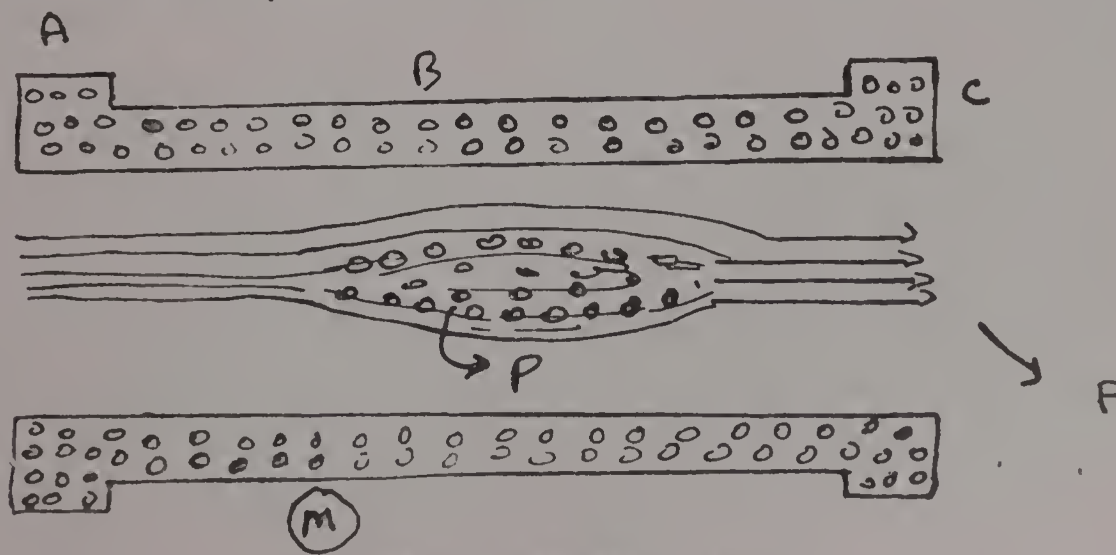
ಇತ್ಯಾದಿ.

ಲಿಥಿಯಂ ಹೇರಳವಾಗಿ ಸಿಕ್ಕುವುದರಿಂದ, ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಬಳಸಲು ಹೆಚ್ಚು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಇದು ಒಂದು ಅನಿಯಂತ್ರಿತ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕ್ರಿಯೆ. ಇದನ್ನು ಆಸ್ಫೋಟನೆಗೆ ಅವಕಾಶವಾಗುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಅಗಾಧ ಶಕ್ತಿಯು ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ.

ಈ ಮಾದರಿಯ ಆಸ್ಫೋಟನೆಯನ್ನು ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯ A- ಬಾಂಬಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಗಮನಾರ್ಹವಾಗುತ್ತವೆ. A- ಬಾಂಬಿನಲ್ಲಿರುವಂತೆ, H- ಬಾಂಬಿನಲ್ಲಿ ಉತ್ಕಟ ಗಾತ್ರದ (Critical size) ಪ್ರಶ್ನೆಯು ಇರುವುದಿಲ್ಲ. ಇದಕ್ಕೆ ಮುಖ್ಯವಾದದು ಅತ್ಯಧಿಕ ಉಷ್ಣಾಂಶದ ನಿರ್ಮಾಣ. ಇದಕ್ಕೆ ಸಹಾಯಕವಾಗಲು ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸದಿದ್ದರೆ, ಬೇರೆ ಯಾವುದಾದರೂ ವಿಧಾನವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಹಾಗೆ ಮಾಡಿದರೆ, ವಿದಲನ ಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾ ಶೀಲವಸ್ತುಗಳ ದೋಷಗಳು, ಸಂಯೋಜನೆಯ ವಿಧಾನದಲ್ಲಿರುವುದಿಲ್ಲ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಿಡಿತವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿದರೆ, ಸಂಯೋಜನೆಯ ಬಾಂಬು ಶುದ್ಧ (Clean) ಬಾಂಬ್‌ನಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ.

ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನೂ ನಿಯಂತ್ರಣ (Controlled) ಪ್ರಯತ್ನಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಿವೆ. ಯಾವ ಕೃತಕ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿಯೂ ಲಕ್ಷಾಂತರ ಡಿಗ್ರಿಗಳ ಶಾಖವನ್ನು ತಡೆಯುವ ಯೋಗ್ಯತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ವಸ್ತುವನ್ನೂ ಪಡೆಯುವುದು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಅನಿಲ ರೂಪದ ಉತ್ಸರ್ಜನೆಯನ್ನು (gaseous discharge) ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಅದನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್ ಕಾಂತದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಪ್ರಬಲಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಅಡಗಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಇದನ್ನು ಪ್ಲಾಸ್ಮ (Plasma) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ವಸ್ತುವಿನ ನಾಲ್ಕನೆಯ ಸ್ಥಿತಿಯೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು.

ಪ್ಲಾಸ್ಮ ಎಂದರೆ, ಅಯನೀಕೃತ ಪರಮಾಣುಗಳಾಗಲಿ, ಅಣುಗಳಾಗಲಿ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಾಗಲಿ, ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾದ ಒಂದು ಝರಿ (Stream) ಯಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಧಾರಣ ಮಾಡಲು (Confined) ಕಾಂತೀಯ ಒಂದು ಸೀಸೆ (magnetic bottle) ಯನ್ನು ಅಳವಡಿಸಬೇಕು. ಈ ಕಲ್ಪನೆಯ ಚಿತ್ರವನ್ನು ಕೆಳಗೆ ಕೋರಿಸಿದೆ ... 8.22



ಚಿತ್ರ 8.22 ಕಾಂತೀಯ ಸೀಸೆ

ABC ಎಂಬುದು ತಂತಿಯುರುಳಿಯ ಕಾಂತ (Solenoid) ಇದರಲ್ಲಿ ಸುತ್ತಿರುವ (M) ತಂತಿಸುರಳಿಗಳ ಮೂಲಕ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಹರಿಸುವುದರಿಂದ ಅದರ ಟೊಳ್ಳು ಒಳಭಾಗದ ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ (F) ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರವು ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಇದರ ರೇಖೆಯ ಗೆರೆಗಳನ್ನು F ಎಂದು ತೋರಿಸಿದೆ–ಈ ಮಧ್ಯಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಅಯಾನೀಕೃತ ಪರಮಾಣುಗಳ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನು ಪ್ರವಾಹದ ಝರಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಪ್ರವೇಶ ಮಾಡಿಸಿದರೆ, ಈ ಕಣಗಳು (P) ಕಾಂತರೇಖೆಗಳ ನಿರ್ದೇಶನದಲ್ಲಿ ಅತಿ ವೇಗದಿಂದ ಸುರಳಿ (spiral) ರೂಪದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ–ಎರಡು ಕಡೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇರುವ ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿ ಪ್ರವಹಿಸುವಾಗ, ಬಲಗಳ ಅಂಗಗಳು ಅವುಗಳನ್ನು ಮಧ್ಯಕ್ಕೆ ತಳ್ಳುತ್ತವೆ. A, B, C ಸುರಳಿಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರವಹಿಸುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದ ಬದಲಾವಣೆಗಳಿಂದ, ನಮಗೆ ಬೇಕಾದಂತೆ ಈ ಪ್ಲಾಸ್ಮ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹವನ್ನು ಸಂಕುಚಿಸುವಂತೆಯೂ ವಿಸ್ತರಿಸುವಂತೆಯೂ ಮಾಡಬಹುದು–ಸಂಕೋಚನವನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸು ವುದರಿಂದ ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನು ಏರಿಸಿ ಕಣಗಳ ಸಮೂಹಗಳ ವೇಗಗಳು ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಮಾಣಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳಿಂದ ಇಡೀ ಸಮೂಹವನ್ನು ಒಂದು ಧಾರೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಚಿಮ್ಮಿಸಬಹುದು (Jet).

ಈ ವಿಧವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಲಿವೆ.

8.16 ಸೂರ್ಯನ ಶಕ್ತಿ

ಸೂರ್ಯನ ಮಧ್ಯ ಭಾಗದ ತಿರುಳು ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ (core) ಸುಮಾರು 2 ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳ ಉಷ್ಣವಿರುವುದೆಂದು ಅಂದಾಜು ಮಾಡಲಾಗಿದೆ–ಆ ಉಷ್ಣದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳು ತಮ್ಮ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನೆಲ್ಲ ಕಳೆದುಕೊಂಡು, ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ γ–ಕಿರಣಗಳೂ X–ಕಿರಣಗಳು ಮುಂತಾದ ರೂಪದಲ್ಲಿ ಜ್ಯೋತಿಯ ಅಲೆಗಳಿರುತ್ತವೆ–ಇಷ್ಟು ಅತ್ಯಧಿಕ ಉಷ್ಣಾಂಶದ ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಗಳು ನಡೆಯಲು ಸರಿಯಾದ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿರುತ್ತವೆ. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಸೂರ್ಯನ ಹೊರವಲಯಗಳಲ್ಲಿರುವ ಕಡಮೆ ಉಷ್ಣಾಂಶ ಪ್ರದೇಶಗಳಿಗೆ ಚಲಿಸುವಾಗ, ಕಡಮೆ ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಬೆಳಕಿನ ಅಲೆಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ–ಹೀಗಾಗಿ, ಸೂರ್ಯನ ಪರಿಧಿಯ ಮೇಲ್ಮೈಯಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ದೃಶ್ಯ, ನೀಲಾತೀತ ಮತ್ತು ಅತಿರಕ್ತ (visible, ultra-violet and infrared) ಗುಂಪುಗಳಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದು.

ಸೂರ್ಯನ ಮಧ್ಯಭಾಗದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ವಿಧಾನವನ್ನು ಸೂಚಿಸಲು ಬೆಥೆ (bethe) ಕಾಲವು ಸರಪಳಿ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿದ್ದಾನೆ. ಅವುಗಳನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.

(i) $_1H^1 + {_6C^{12}} \rightarrow {_7N^{13}} + \nu$
(ii) $_7N^{13} \rightarrow {_6C^{13}} + {_1e^{\circ}}$
(iii) $_1H^1 + {_6C^{13}} \rightarrow {_7N^{14}} + \nu$
(iv) $_1H^1 + {_7N^{14}} \rightarrow {_8O^{15}} + \nu$
(v) $_8O^{15} \rightarrow {_7N^{15}} + {_1e^{\circ}}$
(vi) $_1H^1 + {_7N^{15}} \rightarrow {_6C^{12}} + {_2He^4}$ ... 8.5

ಈ ಆರು ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಒಂದು (cycle) ಆವರ್ತದಲ್ಲಿ 4 ಜಲಜನಕ ಪರಮಾಣುಗಳೂ, ಪಾಲುಗೊಂಡು, ಅವುಗಳ ಪರಿವರ್ತನೆಯಿಂದ, ಎರಡು ಪಾಸಿ ಟ್ರಾನ್ ($_1e^{\circ}$) ಗಳೂ, 3 ν–ಕಿರಣಗಳೂ ; ಒಂದು α–ಕಿರಣವೂ ($_2He^4$) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಉಳಿದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳೆಲ್ಲ ಪರಸ್ಪರ ನಾಶ (cancel) ವನ್ನು ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಮೊದಲಿದ್ದಂತೆಯೇ, ಕೊನೆಯಲ್ಲಿಯೂ ಒಂದು $_6C^{12}$ ಉಳಿಯುತ್ತದೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ,

ಅಳಿದಿರುವ ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುಗಳು 4 $_1H^1$ = 4.0313 (a.m.u.) ಉತ ತ್ತಿಯಾಗಿರುವ 2 ಪಾಸಿ ಟ್ರಾನ್ (2_1e°) ಮತ್ತು ಒಂದು α ಕಣವೂ ($_2He^4$) ಸೇರಿದರೆ, 4.0026 + .0011 = 4.0037 ಆಗುತ್ತದೆ. ಈ ಒಂದು ಆವರ್ತದಲ್ಲಿ ವಸ್ತುನಾಶ = (4.0313 − 4.0037) = O.0276 (a.m.u.) ಇದನ್ನು ಶಕ್ತಿರೂಪಕ್ಕೆ ತಂದರೆ (.0276 × 931) = 25.7 Mev ಆಗುತ್ತದೆ. ಸೂರ್ಯನು ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಸುಮಾರು 3.8 × 10^{26} ಜೂಲ್ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಸತತವಾಗಿ ಹೊರಗೆಡುಹುತ್ತಿದ್ದಾನೆ.

ಈ ಶಕ್ತಿಯ ವಿಸರ್ಜನೆಯಿಂದ ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸೂತ್ರ ($E = Mc^2$)ದ ಪ್ರಕಾರ, ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ (M) ವು ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿಗೆ ಸುಮಾರು 4.2 × 10^9 Kg. ನಷ್ಟ ನಳಿಸುತ್ತಾ ಹೋಗಬೇಕು. ಆದರೆ, ಸೂರ್ಯನ ಒಟ್ಟು ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಅಂದಾಜು ಪ್ರಮಾಣವು 1.98 × 10^{38} Kg. ಅಂದರೆ, 10 ಲಕ್ಷ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಸೂರ್ಯನ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಒಂದು ಕೋಟಿಯ ಒಂದು ಪಾಲು ಮಾತ್ರ ಅಳಿಯುತ್ತದೆ ! ಆದ್ದರಿಂದ, ಕೋಟ್ಯಂತರ ವರ್ಷಗಳವರೆವಿಗೆ, ಗಮನೀಯವಾದ ಯಾವ ಬದಲಾವಣೆಯೂ ನಮಗೆ ಇದರಿಂದ ಆಗುವಂತಿಲ್ಲ.

ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನೋಡಿದರೆ, ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಅಗಾಧ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ನಿರಂತರವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತಿರುವ ಶಕ್ತಿಯ ಮೂಲಸ್ಥಾನವನ್ನು, ಅದರ ಮಧ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ 2 ಕೋಟಿ ಡಿಗ್ರಿಗಳ ಶಾಖದಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಪರಮಾಣು ಸಂಯೋಜನೆಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವೆಂದು ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಸೂರ್ಯನು H–ಬಾಂಬ್‌ಗಳಿಗೆ ದೊಡ್ಡ ಆಗಾರ ಸ್ಥಾನವೆಂದು ಭಾವಿಸಿದರೆ ತಪ್ಪಾಗಲಾರದು!

9. ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು - ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳು

9.1 ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು

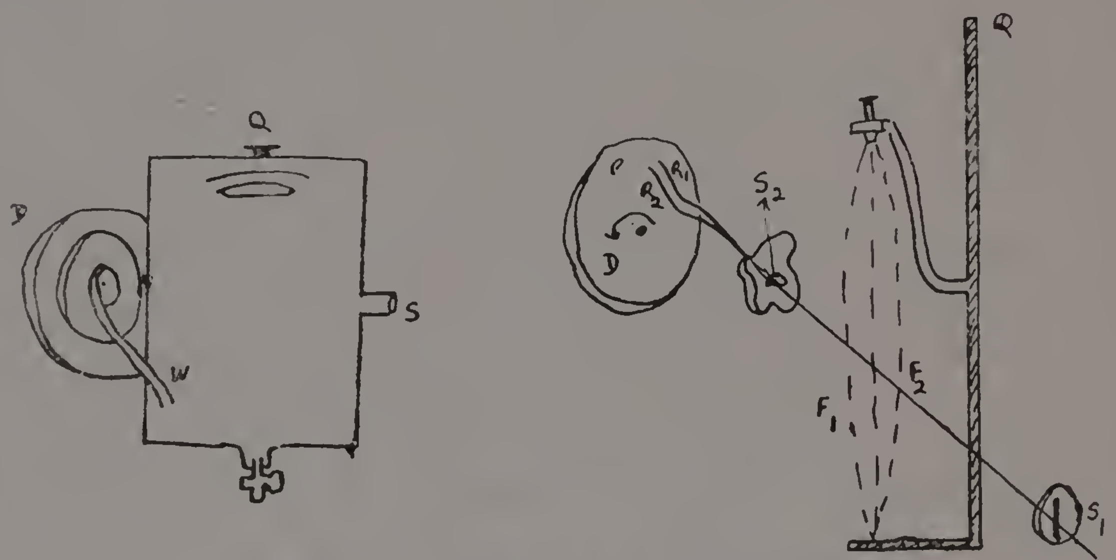
ಆಧುನಿಕ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ 'ವಿಶ್ವಕಿರಣ' ಗಳಿಗೆ ವಿಶಿಷ್ಟ ಸ್ಥಾನವಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ; ಅದರಲ್ಲಿ ವಿಚಾರಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳ ಅತಿ ಸೂಕ್ಷ್ಮತೆ, ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳ ನಾಜೂಕು, ಸಂಶೋಧಕರ ಸಾಹಸಪೂರಿತ ಪ್ರವಾಸ ಗಳು, ವಿಶ್ಲೇಷಣೆಯ ಚತುರತೆ, ಮತ್ತು ಭಾವನೆಗಳ ಅಮೋಘತ್ವ.

ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಬೆಕ್ಕರಲ್ ಕಂಡುಹಿಡಿದು, ಕ್ಯೂರಿ ದಂಪತಿಗಳು ರೇಡಿಯಂ ವಸ್ತುವನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಿದ ನಂತರ, ಬಹು ಸಂಖ್ಯಾತ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಬಾಹ್ಯಾಕಾಶದ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ಕಿರಣಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು ಐವತ್ತು ವರ್ಷಗಳಿಗೆ ಮೇಲ್ಪಟ್ಟು ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ಮುಂದುವರಿಸುತ್ತಾ ಬಂದಿದ್ದಾರೆ-ಇವುಗಳಿಂದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳ ರಚನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ನಮ್ಮ ಜ್ಞಾನವು ಬಹಳ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದಿದೆ.

1903 ರಲ್ಲಿ ರಥರ್‌ಫರ್ಡ್, 1910 ರಲ್ಲಿ ಗ್ಲಾಕಲ್, 1911 ರಲ್ಲಿ ಹೆಸ್ (Hess) ಮತ್ತು 1914 ರಲ್ಲಿ ಕೋಲ್‌ಹಾರ್‌ಸ್ವರ್ ಮುಂತಾದ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಹೊರಗಣ ವಾಯುಮಂಡಲದ ವಿವಿಧ ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಚಿನ್ನದ ಪತ್ರದ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಾಪಕ (Gold-leaf electroscope) ದ ಉಪಕರಣದ ಮೂಲಕ ಯಾವುದೋ ಒಂದು ಅವ್ಯಕ್ತ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ಪತ್ತೆಹಚ್ಚಲು ಪ್ರಯೋಗ ಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದರು. ಈ ಸಣ್ಣ ಉಪಕರಣವನ್ನು ನೆಲಮಟ್ಟದಿಂದ ಸುಮಾರು 5½ ಮೈಲಿಗಳ ಎತ್ತರದವರೆಗೆ ಹಾರಬಲ್ಲ ಆಕಾಶ ಬುಟ್ಟಿಗಳಲ್ಲಿಟ್ಟು (Balloons) ಹಾರಿಸಿದರು- ಇವುಗಳ ಫಲವಾಗಿ ಗೊತ್ತಾದ ಮುಖ್ಯ ವಿಷಯ ವೇನೆಂದರೆ, ನೆಲದಿಂದ ಮೇಲ್ಮಟ್ಟವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣವಾದ ಯಾವುದೋ ಒಂದು ವಿಧವಾದ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕದ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಯು ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತ ಹೋಯಿತು. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವನ್ನು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಊಹಿಸಿ ಪ್ರಕಟಿಸಿದವನು 'ಹೆಸ್' ವಿಜ್ಞಾನಿ. ಆತನ ಪ್ರಕಾರ, ವಿಶ್ವದ ಅಂತರಾಳದಿಂದ ನಮ್ಮ ಭೂಮಿಯ ವಾಯುಮಂಡಲವನ್ನು ಅತಿ ತೀಕ್ಷ್ಣ ಸ್ವರೂಪದ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತಿರಬೇಕು—ಇವುಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದಲೇ ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕದ ಚಿನ್ನದ ಎಳೆ ಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶ (electric charge) ವು ತಾಕಿ ಅವುಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ

ಬೇರ್ಪಡುವ ಲಕ್ಷಣವನ್ನು ನಾವು ಕಾಣುತ್ತೇವೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ ಆ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳೆಂದು (Cosmic Rays) ಹೆಸರು ಬಂದು, 'ಹೆಸ್' ವಿಜ್ಞಾನಿಗೆ 1936 ರಲ್ಲಿ ನೊಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನವು ದೊರೆಯಿತು.

ಈ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಪರಿಣಾಮಕಾರಿಯಾಗಿ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದವರಲ್ಲಿ ಮಿಲ್ಲಿಕನ್ ಮತ್ತು ಬೋವೆನ್ (Milliken and Bowen) ಪ್ರಮುಖರು. ಆಕಾಶಬುಟ್ಟಿಗಳಲ್ಲಿ ಇಟ್ಟು ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ಸ್ಟ್ರಾಟೋಸ್ಫಿಯರ್ (Strato-sphere) ಮಂಡಲಕ್ಕೆ ಕಳುಹಿಸಿದರು. ಈ ಉಪಕರಣಗಳು ಕೇವಲ 7-8 ಔನ್ಸ್ ತೂಕವಾಗಿದ್ದು, ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಸಣ್ಣ ಸ್ವಯಂ ಲೇಖಕ ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕಗಳು ಇದ್ದುವು. ಅವುಗಳ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಛಾಯಾ ಫಲಕಗಳ ಮೇಲೆ (Photographic films) ಅಳವಡಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿದ್ದುವು. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಆಯಾ ಮಟ್ಟಗಳ ಎತ್ತರವನ್ನೂ ಉಷ್ಣದ ಮಟ್ಟವನ್ನೂ ಗುರುತಿಸುವಂತೆ ವ್ಯವಸ್ಥೆ ಮಾಡಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಈ ಉಪಕರಣದ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಿಂದ 9.1 ಕಾಣಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಸಂಶೋಧಕ ಆಕಾಶ ಬುಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಅಳವಡಿಸಿ ಮೇಲಕ್ಕೆ ಹಾರಿಸಲಾಯಿತು.



ಚಿತ್ರ 9.1 ಸ್ವಯಂಲೇಖಕ ತಂತುವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕ

Q ಎಂಬುದೇ ತಂತು ವಿದ್ಯುನ್ಮಾಪಕ–ಇದರ ಉದ್ದ ಸುಮಾರು 6 ಅಂಗುಲಗಳು ಮಾತ್ರ (a) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಬಾಹ್ಯನೋಟವನ್ನೂ (b) ಯಲ್ಲಿ ಒಳಗಿನ ಅಂಗಗಳನ್ನೂ ನಿರೂಪಿಸಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ಅಂಗವೆಂದರೆ F_1, F_2 ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಚಿನ್ನದ ಲೇಪ ಮಾಡಿರುವ ಎರಡು ಬೆಣಚು ತಂತುಗಳು (Quartz fibres) ಇವುಗಳ ಎರಡು ತುದಿಗಳನ್ನೂ ಬಂಧಿಸಿ ನೆಟ್ಟಗೆ ಸ್ಥಾಪಿಸಲಾಗಿದೆ. ಹೊರಗಿನಿಂದ ಬರುವ ಬೆಳಕು ಉಪಕರಣದ ಹೊರಭಾಗದಲ್ಲಿರುವ s ಎಂಬ ಸೂಕ್ಷ್ಮ ಕಂಡಿ (slit) ಯು ಮೂಲಕ ಒಳಗೆ ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತದೆ. ಇದು ತಂತುಗಳ ಮಧ್ಯಭಾಗದ ಮೂಲಕ

ಹಾಯ್ದು ಅವುಗಳ ಛಾಯೆಗಳು ನಿಧಾನವಾಗಿ ಸುತ್ತುತ್ತಿರುವ ಒಂದು ವರ್ತುಲಪಟ್ಟಿ (disc) ಯ ಮೇಲೆ ಬೀಳುತ್ತವೆ. ಈ ಪಟ್ಟಿಯ ಮೇಲ್ಮೈಯ ಮೇಲೆ ಛಾಯಾ ಚಿತ್ರ ಫಿಲಂ ಇದೆ. ಈ ಫಿಲಂ ಸುತ್ತುವಾಗ, ಎರಡು ತಂತುಗಳು ಸಮೀಪವಾಗಿರುವ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ಅವುಗಳ ಎರಡು ಗುರುತುಗಳು R_1R_2 ಫಿಲಂ ಮೇಲೆ ಲೇಖಿತವಾಗುತ್ತವೆ. ಇದೇ ಫಿಲಂ ಮೇಲೆ, ಮತ್ತೊಂದು ಒತ್ತಡ ಮಾಪಕದ ಮೂಲಕ ಎತ್ತರವನ್ನು ಸೂಚಿಸುವ ಗುರುತುಗಳು ಉಲ್ಲೇಖವಾಗುತ್ತವೆ. ಆ ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನೂ ಗುರುತಿಸುವ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯೂ ಇದೆ. ಫಿಲಮ್ಮನ್ನು ಸುತ್ತುವಂತೆ ಮಾಡುವುದು w ಎಂದು ತೋರಿಸಿರುವ ಕಾಲನಿಯಾಮಕ ಯಂತ್ರ (wateh mechanism). ಹೊರಗಿನ ವಾತಾವರಣದಲ್ಲಿ ಅವ್ಯಕ್ತ ಕಿರಣ ಗಳ ಪ್ರಭಾವವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಅಯಾನೀಕರಣದ ಮೂಲಕ F_1F_2 ತಂತುಗಳಿಗೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ತಾಕುವುದರಿಂದ ಅವುಗಳು ಬೇರ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಪ್ರಭಾವವು ಹೆಚ್ಚಿದಷ್ಟೂ, ಈ ಬೇರ್ಪಡುವಿಕೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗುವುದನ್ನು R_1, R_2 ಗೆರೆಗಳು ಫಿಲಂ ಮೇಲೆ ಸೂಚಿಸುತ್ತವೆ. ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಕಡಮೆಯಾದಾಗ, ಎರಡು ತಂತುಗಳು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತವೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ, ಸ್ವಯಂಲೇಖಿಕ ಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ವಿವಿಧ ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ಕಿರಣಗಳ ಪ್ರಭಾವದ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಹೇಗೆ ಬದಲಾಯಿಸುತ್ತ ವೆಂಬುದನ್ನು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಎತ್ತರ ಹಬ್ಬಿದಷ್ಟು ಕಿರಣಗಳ ಅಯನೀಕರಣ (ionization) ಶಕ್ತಿಯು ವೃದ್ಧಿಯಾಗುವುದು ಸ್ಪಷ್ಟವಾಯಿತು. ಇದರಿಂದ, ಈ ಕಿರಣಗಳು ನಕ್ಷತ್ರಗಳ ನಡುವಣ ಪ್ರದೇಶದಿಂದ, ಅಂದರೆ ವಿಶ್ವದ ಅಂತರಾಳದಿಂದ ಪ್ರವೇಶಿಸಬೇಕು ಎಂಬುದನ್ನು ಊಹಿಸಬಹುದಾಗಿದೆ.

9.2 ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಗುಣಲಕ್ಷಣಗಳು

ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಹಲವಾರು ಯಾಂತ್ರಿಕ ಸಾಧನಗಳಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಗೈಗರ್-ಮುಲರ್ ಗಣಕ, ವಿಲ್ಸನ್ ಮೇಘ ಮಂದಿರ, ಸ್ಫುರಣ ಗಣಕ, ಬುದ್ಬುದ ನಿಲಯ ಮುಂತಾದುವುಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸ ಬಹುದು. ಈ ಉಪಕರಣಗಳ ವಿವರಣೆಯನ್ನು ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಕೊಡ ಲಾಗಿದೆ.

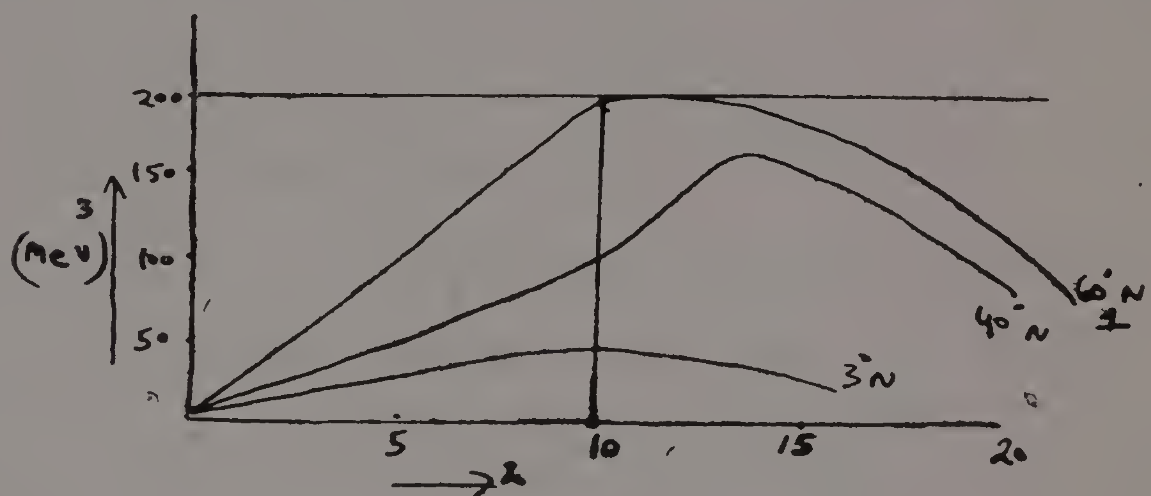
(i) ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆ

ಕಿರಣಗಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆಯನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಅವುಗಳು ಎಷ್ಟು ದೂರ ಗಾಳಿಯಲ್ಲಿ ಯಾಗಲಿ, ನೀರಿನೊಳಗಾಗಲಿ ಹಾಯ್ದರೆ, ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಗಮನೀಯವಾಗಿ ಕುಂದುತ್ತದೆ ಎಂಬುದರಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು. 5100 ಅಡಿಗಳ ಎತ್ತರದ ಮೇಲೆ ಇರುವ ಕ್ಯಾಲಿಫೋರ್ನಿಯದ ಒಂದು ಸರೋವರದಲ್ಲಿಯೂ, ಹಾಗೆಯೇ 11,800

ಅಡಿಗಳ ಎತ್ತರದಲ್ಲಿರುವ ಮತ್ತೊಂದು ಸರೋವರದಲ್ಲಿಯೂ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಇವುಗಳಿಂದ ಕಂಡುಬಂದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ : 100 ಅಡಿಗಳ ದೂರ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದ ನಂತರವೂ, ವಿಶ್ವ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಗಮನೀಯವಾಗಿ ಕಡಮೆಯಾಗಲಿಲ್ಲ. ಮತ್ತೆ ಕೆಲವು ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಮೂಲಕ, ಕಿರಣಗಳು 2000 ಅಡಿಗಳ ದೂರ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯ್ದನಂತರವೂ, ತಮ್ಮ ಪ್ರಭಾವವನ್ನು ತೋರ್ಪಡಿಸಿವೆ. ಆದುದರಿಂದ, ವಿಕಿರಣ ಕ್ರಿಯಾಶೀಲ ವಸ್ತುಗಳಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವ ತೀಕ್ಷ್ಣ γ-ಕಿರಣಗಳಿಗಿಂತ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಹೆಚ್ಚು ಎಂಬುದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು.

(ii) ಯಾವ ದಿಕ್ಕಿನಿಂದ ಬರುವ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿ ಹೆಚ್ಚು ಎಂಬುದನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಎರಡು ಗೈಗರ್ ಗಣಕಗಳನ್ನು ಜಂಟಿಯಾಗಿ ಉಪಯೋಗಿಸಿ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ನೆಟ್ಟಗೆ ಮೇಲಿನಿಂದ ಬರುವ ಕಿರಣಗಳಿಗೇ ಶಕ್ತಿ ಹೆಚ್ಚೆಂದು ತಿಳಿದುಬಂದಿತು.

(iii) ವಾಯುಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 15 ಮೈಲಿಗಳ ಎತ್ತರದವರೆವಿಗೂ ಹಾರಿಸಲಾದ ಆಕಾಶ ವಿಮಾನ ಮತ್ತು ಆಕಾಶ ಬುಟ್ಟಿಗಳ ಮೂಲಕ, ಗೊತ್ತಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಸುಮಾರು 12 ಮೈಲಿಗಳವರೆವಿಗೂ, ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ವೃದ್ಧಿಯಾಗುತ್ತ ಹೋಗಿ, ನಂತರ ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ರೇಖಾಚಿತ್ರವು

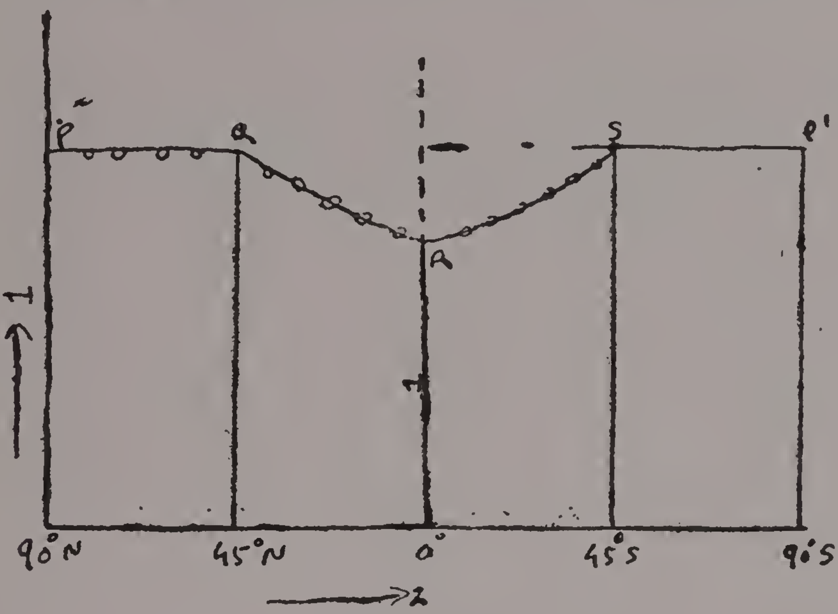


ಚಿತ್ರ 9.2

ತೋರಿಸುತ್ತದೆ...(9.2) ಕಾಂತೀಯ ಸಮಭಾಜಕ ವೃತ್ತ(magnetic equator)ದ ಮೇಲಿನ ಉತ್ತರ ಅಕ್ಷಾಂಶ (latitude) ವು ಹೆಚ್ಚಿದಂತೆಲ್ಲ. ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ಬಹುಮಟ್ಟಿಗೆ ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುವ ವಿಷಯವೂ ಚಿತ್ರದಿಂದ ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ.

(iv) ಭೂಮಿಯ ಮೇಲ್ಮೈಯನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುವ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿವಿಧ ಕಾಂತೀಯ ಅಕ್ಷಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ (magnetic latitude) ಅಳೆಯಲಾಗಿದೆ. ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ಎಲ್ಲಾ ಅಕ್ಷಾಂಶಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇವುಗಳ

ಸಂಖ್ಯೆಯು ಒಂದೇ ಆಗಿರುವಂತೆ ತೋರಿಬಂದಿತು. ಇದರ ವಿಷಯವಾಗಿ ಕೂಲಂಕಷ ವಾಗಿ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸಲು, ಒಂದು ಹಡಗಿನಲ್ಲಿ ಉಪಕರಣಗಳನ್ನು ಸ್ಥಾಪಿಸಿ, ಉತ್ತರ ವಲಯದಿಂದ ದಕ್ಷಿಣ ವಲಯಕ್ಕೆ ಪ್ರಯಾಣ ಮಾಡಲಾಯಿತು. ಅಂದರೇ ಉತ್ತರ ಅಕ್ಷಾಂಶ 90° ನಿಂದ, ಕಾಂತೀಯ ಸಮಭಾಜಕ ವೃತ್ತದ ಮೂಲಕ ದಕ್ಷಿಣ ಅಕ್ಷಾಂಶ 90° ವರೆಗೆ ನಡೆದ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳ ಪರಿಣಾಮಗಳನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ (9.3) ತೋರಿಸಿದೆ—ಎಲ್ಲ ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳೂ, ಸಮುದ್ರ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿಯೇ ಇದ್ದುವು.



ಚಿತ್ರ 9.3

42°N ವರೆಗೆ ಶಕ್ತಿಯು ಒಂದೇ ಆಗಿದ್ದು ನಂತರ, 0° (ಸಮಭಾಜಕ ವೃತ್ತ) ದ ವರೆವಿಗೆ ಇಳಿಮುಖವಾಗಿ ನಂತರ ಮತ್ತು ದಕ್ಷಿಣ ವಲಯದಲ್ಲಿ 42° ವರೆಗೆ ಏರುತ್ತ ಹೋಗಿ ತರುವಾಯ ಬದಲಾವಣೆ ಹೊಂದುವುದಿಲ್ಲ.

(v) ಮೇಲಿನ ವರ್ತನೆಗೆ ಕಾರಣವನ್ನು ಭೂಮಿಯ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದ ಪರಿಣಾಮವೆಂದು ಊಹಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಸೂರ್ಯನಿಂದಲೂ, ಹೊರ ಆಕಾಶದಿಂದಲೂ, ಪ್ರವೇಶಿಸುತ್ತಿರುವ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು ಭೂಮಿಯ ಕಾಂತ ಕ್ಷೇತ್ರವನ್ನು ತಲುಪುವಾಗ, ಅವುಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳಲ್ಲಿ ಪಲ್ಲಟವುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ, ಎರಡು ಪಟ್ಟೆಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ (belts) ಕಾಂತೀಯ ಧ್ರುವಗಳನ್ನು (magnetic poles) ಬಿಟ್ಟು ಉಳಿದ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಆವರಣಗಳು ಭೂಮಿಯನ್ನು ಆವರಿಸುತ್ತವೆ—ಕಾಂತೀಯ ಸಮಭಾಜಕ ವೃತ್ತದ ಮೇಲೆ ಸುಮಾರು 2500 ಮೈಲಿಗಳವರೆಗೆ ಇವುಗಳು ವ್ಯಾಪಿಸಿರುತ್ತವೆ. ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಪಟ್ಟೆಯೂ, ದೂರದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಪಟ್ಟೆಯೂ ಆವರಿಸುತ್ತವೆ—ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಅಕ್ಷಾಂಶಕ್ಕೂ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ.

(iv) ನಮ್ಮ ವಾಯುಮಂಡಲವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುವ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಗುಂಪುಗಳನ್ನು ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದು. ವಾಯುಮಂಡಲವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸುವಾಗ, ಕಿರಣಗಳು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳನ್ನೂ ಪ್ರಾಥಮಿಕ (Primary) ಕಿರಣಗಳೆಂದು ಕರೆದರೆ, ಇವುಗಳಲ್ಲಿ 89% ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳೂ, 9% a ಕಣಗಳೂ, ಉಳಿದುವುಗಳು C, N, O, Fe – ಮುಂತಾದ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳೂ ಆಗಿರುತ್ತವೆ.

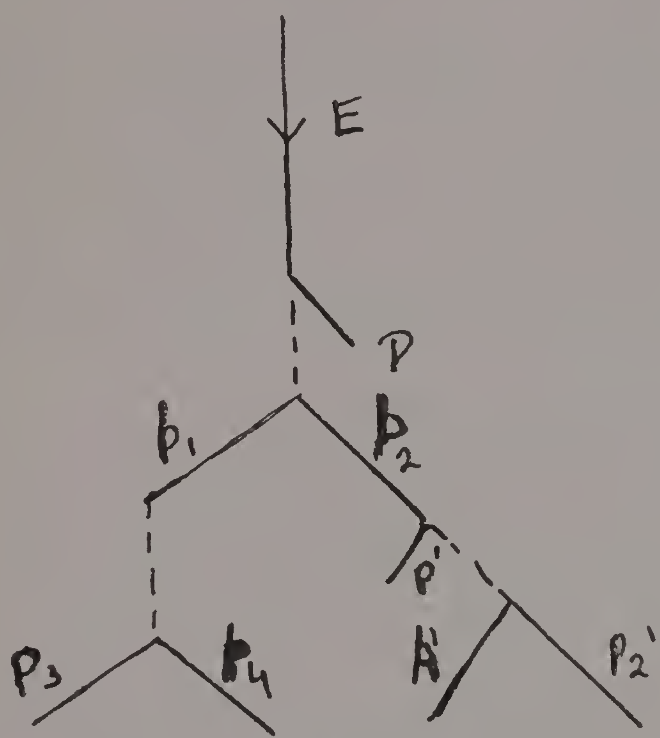
ವಾಯು ಮಂಡಲವನ್ನು ಪ್ರವೇಶಿಸಿದನಂತರ, ಈ ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಕಣವು ಮತ್ತೊಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆಹೊಂದಿ, ಅದನ್ನು ಒಂದು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ತುಂಡುಗಳನ್ನಾಗಿ ಭೇದಿಸುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳಿಗೆ ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಕಿರಣದ ಶಕ್ತಿಯು ವರ್ಗಾಯಿಸಲ್ಪಟ್ಟು, ಇವು ಮತ್ತೆ ಇತರ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ. ಈ ಘರ್ಷಣೆಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳನ್ನು ದ್ವಿತಿಯ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳೆಂದು (Secondary Cosmic Rays) ಕರೆಯುಬಹುದು. ಈ ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಅತಿತೀಕ್ಷ್ಣ ಗಾಮಾ (γ) ಕಿರಣಗಳೂ, ಫೋಟಾನ್ ಗಳೂ ಉದ್ಭವವಾಗುವುವು.

15 ಮೈಲಿಗಳ ಎತ್ತರದಲ್ಲಿ ಈ ದ್ವಿತೀಯ ಕಿರಣಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸುಮಾರು 10-15 ಪಾಲು ಇರಬಹುದು—ಕೆಳಗಿನ ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ದ್ವಿತೀಯ ಕಿರಣಗಳು ಘರ್ಷಣೆಯಿಂದ ತಡೆಯಲ್ಪಡುವುದರಿಂದ, ಒಟ್ಟು ಶಕ್ತಿಯು ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ–ಸಮುದ್ರದ ಮಟ್ಟವು ಬಂದ ಕೂಡಲೇ, ಉಳಿಯುವ ಕಿರಣ ಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಮತ್ತು ದ್ವಿತೀಯ ಕಿರಣಗಳು ಮಾತ್ರ ಇರುತ್ತವೆ. ಆದರೂ, ಇವುಗಳು ಕೂಡ, ಸಾವಿರಾರು ಅಡಿಗಳ ದೂರ ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಹಾಯಲು ಬೇಕಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

(vi) **ವಿಶ್ವಕಿರಣ ಪ್ರಪಾತಗಳು** (Cosmic Ray Showers)

ವಿಲ್ಸನ್ ಮೇಘ ಮಂದಿರದಲ್ಲಿ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಪಥಗಳ ಚಿತ್ರಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದಾಗ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಕಿರಣಗಳು ಗುಂಪುಗುಂಪಾಗಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಒಂದೇ ಒಂದು ಮೂಲ ಕಿರಣವು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುವ ಸಮೂಹಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ಊಹಿಸಬಹುದು. ಸುಮಾರು 1 ಸೆಂ.ಮೀ. ದಪ್ಪದ ಸೀಸದ ಫಲಕದ ಮೂಲಕ ಹೊರಬೀಳುವ ಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಗುಂಪು ಕಟ್ಟಿಕೊಳ್ಳುವುದನ್ನು ಗಣಕಗಳ (Counter) ಮೂಲಕ ವೀಕ್ಷಿಸಬಹುದು. ರಾಸ್ಸಿ, ಬ್ಲಾಕೆಟ್, ಭಾಭಾ, ಹೈಟ್ಲರ್ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ವಿಷಯವನ್ನು ಕೂಲಂಕಷವಾಗಿ

ಪರಿಶೀಲಿಸಿ ಅದರ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಹೊರಗೆಡಹಿದ್ದಾರೆ ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗಿರುವ ವಿಷಯವೆಂದರೆ:– ಮೂಲ ವಿಶ್ವಕಿರಣದ ಮಾರ್ಗದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಾಂದ್ರತೆಯ ದ್ರವ್ಯವು (Concentration of matter) ಇದ್ದಷ್ಟೂ ತುಂತುರುಗಳ (showers) ಸಂಭವವು ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ–ಈ ತುಂತುರುಗಳು ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಒಳಗೊಂಡಿರುತ್ತವೆ - ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ ಫೋಟಾನ್‌ಗಳೂ ಈ ಗುಂಪುಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಬರುತ್ತವೆ. 1937 ರಲ್ಲಿ ಭಾಭಾ ಮತ್ತು ಹೈಟ್ಲರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ತುಂತುರುಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಪ್ರಪಾತ (Cascade) ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಪ್ರಕಟಿಸಿದರು–ಇದರಲ್ಲಿ ದ್ವಂದ್ವಕಣಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆ ಮತ್ತು ವಿಕಿರಣ ಘರ್ಷಣೆ (Pair production and radiative collisions) ಗಳ ತತ್ತ್ವಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿವೆ. ಇದರ ವಿವರವನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರವು ನಿರೂಪಿಸುತ್ತದೆ. (9.4) :



ಚಿತ್ರ 9.4 ವಿಶ್ವಕರಣ ತುಂತುರುಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆ

ಅತಿಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯುಳ್ಳ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (E) ದ್ರವ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೂಲಕ ಹಾಯುವಾಗ, ಬಹುಭಾಗದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಕಿರಣ ಘರ್ಷಣೆ (radiative collision)ಯ ಮೂಲಕ ಕಳೆದುಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದರ ಫಲವಾಗಿ ಒಂದು ಫೋಟಾನ್ (P) ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆ-ಈ ಫೋಟಾನ್‌ಕಣವು ಬೆಳಕಿನ ವೇಗದಲ್ಲಿ ಚಲಿಸಿ ಸ್ವಲ್ಪ ದೂರದಲ್ಲಿಯೇ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದೊಂದಿಗೆ ಪ್ರತಿಕ್ರಿಯೆ ಹೊಂದಿ ಅದರಲ್ಲಿ ಗ್ರಹಣವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಕಣದ್ವಂದ್ವಗಳು (p_1p_2) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತೊಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್–

ನಾಶವಾದ ಫೋಟಾನ್ ಶಕ್ತಿಯು ಈ ಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಸಮಾನ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಎರಡು ಕಿರಣಗಳೂ p_1 p_2 ಮತ್ತೆ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳೊಡನೆ ಘರ್ಷಣೆ ಹೊಂದಿ ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯ ಫೋಟಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪನ್ನ ಮಾಡುತ್ತವೆ. (P^1) ಈ ಫ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ್ವಂದ್ವವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದೇ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಸರಪಳಿಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಪರ್ಯಾಯ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯಿಂದ ದ್ರವ್ಯಕ್ಕೂ ದ್ರವ್ಯದಿಂದ ಶಕ್ತಿಗೂ ಪರಿವರ್ತನೆಗಳು ನಡೆಯುತ್ತಲೇ ಹೋಗುತ್ತವೆ. ಹೀಗಾಗಿ ಒಂದೊಂದು ಮೂಲಕಣದಿಂದಲೂ ಒಂದು ಸೆಕೆಂಡಿನ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಭಾಗ ಪ್ರಮಾಣದ ಕಾಲಾವಧಿಯಲ್ಲಿ ಸಮಸಂಖ್ಯೆಯ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ - ಈ ರೀತಿಯ ಪರಿವರ್ತನೆಯು ಸಾಗುತ್ತ ಹೋದರೆ ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾದರೆ (ಸುಮಾರು 7 mev-ಸೀಸದಲ್ಲಿ) ಅಲ್ಲಿಗೆ ಈ ಕ್ರಿಯೆಯು ನಿಂತು ಹೋಗುತ್ತದೆ-ನೀರಿನಲ್ಲಿ ಆದರೆ, ಈ ಕನಿಷ್ಠ ಶಕ್ತಿಯು ಸುಮಾರು 115 mev ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

ಸಮುದ್ರದಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು ಸುಮಾರು 6×10^9 ev ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ 2×10^{10} ev ಶಕ್ತಿಯ ಧನವಿದ್ಯುತ್ ಕಣಗಳೂ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುವುವು. ಆದುದರಿಂದ ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರಾಥಮಿಕ ಮತ್ತು ದ್ವಿತೀಯ ಕಿರಣಗಳುಕೂಡ ಇರುವುದು ವ್ಯಕ್ತವಾಗುತ್ತದೆ. ಕಡಮೆ ಶಕ್ತಿಯ ಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಧನ ಮತ್ತು ಋಣಗಳೂ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇರುವುವು.

9.3 ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್–ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ್ವಂದ್ವಗಳು (Electron pairs).

ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದಂತೆಯೇ ದ್ರವ್ಯಾಂಶನವನ್ನು ಹೊಂದಿ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ಮಾತ್ರ ಧನವಾಗಿರುವ ಕಣಗಳು ಕಂಡು ಬಂದವು. ಇದನ್ನು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ($_{+1}e^0$) ಎಂದು ಸೂಚಿಸುವುದು ವಾಡಿಕೆಯಾಗಿದೆ. ಇದನ್ನು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು, ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಸ್ಥಿರಪಡಿ ದವನು ಆಂಡರ್ಸನ್ (Anderson)– 1932ರಲ್ಲಿ ಈತನು ವಿಲ್ಸನ್ ಮೇಘ ಮಂದಿರದ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಪಥದ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿ ವಿರುದ್ಧ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಅದೇ ತರಹದ ಕಣದ ಪಥವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದನು–ಒಂದು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವಕ್ಕೆ ಒಳಪಡಿಸಿದಾಗ, ಈ ಎರಡು ಕಿರಣಗಳ ಮಾರ್ಗಗಳ ಬಾಗುವಿಕೆಯು ವಿರೋಧವಾಗಿದ್ದು, ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳೂ ವಿರುದ್ಧವಾಗಿರಬೇಕೆಂದು ದೃಢಪಡಿಸಿದನು – ಈ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಹೊಸಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದಷ್ಟೇ ಇರಬೇಕೆಂದೂ ತಿಳಿದು ಬಂದಿತು.

ಮೊದಲು ಈ ಅಂಶಗಳು ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಬಂದರೂ, ಇತ್ತೀಚಿನ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಬೇರೆ ವಿಧಾನಗಳಿಂದಲೂ, ಗುರುತಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ವಿಧಾನಗಳು ಯಾವುವೆಂದರೆ :

(i) ವಿಕಿರಣ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ದ್ರವ್ಯರೂಪಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತಿಸುವುದು.

(ii) ಕೃತಕ ಅಥವಾ ಪ್ರೇರೇಪಿತ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿ.

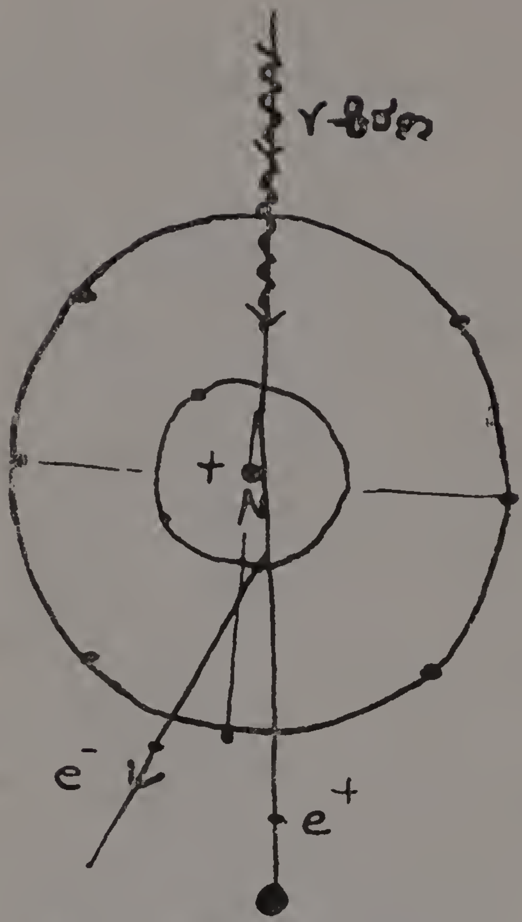
ಮೊದಲನೆಯ ವಿಧಾನವನ್ನು ಅನುಸರಿಸಿ ಛಾಡ್‌ವಿಕ್, ಬ್ಲಾಕೆಟ್, ಆಂಡರ್ಸನ್ ಮುಂತಾದವರು ವ್ಯಾಪಕವಾದ ಪ್ರಯೋಗಗಳನ್ನು ಮಾಡಿದಾರೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ (Po + Be) ಮೂಲ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ 5 Mev ಶಕ್ತಿಯ γ – ಕಿರಣ ಗಳನ್ನು ಯಾವುದಾದರೂ ಒಂದು ವಸ್ತುವಿರುವ ಮೇಘಮಂದಿರ ಮೂಲಕ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡುವುದು. ಇದನ್ನು ಪ್ರಬಲವಾದ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿಟ್ಟು ಮೇಘ ಮಂದಿರದ ಪಥಗಳನ್ನು ಛಾಯಾಚಿತ್ರಗಳ ಮೂಲಕ ಸಮೀಕ್ಷೆ ನಡೆಸುವುದು. ಈ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ವಕ್ರತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿ ವಿರುದ್ಧ ದಿಕ್ಕುಗಳಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಿರುವ ಕಿರಣಗಳ ಪಥಗಳು ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಈ ಅಳತೆಗಳ ಅಂಕಿ ಅಂಶಗಳಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಒಂದೇ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ ವಿರುದ್ಧ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದು ಸ್ಥಿರಪಟ್ಟಿತು. γ – ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯೇ ಈ ಕಣಗಳ ರೂಪಗಳಲ್ಲಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಆ ಮೂಲ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 1·02 Mev ಗಿಂತ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರಬೇಕಾಗುವುದು ಅವಶ್ಯಕ. ಏತಕ್ಕೆಂದರೆ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸಮೀಕರಣದ ಪ್ರಕಾರ, $m_0 =$ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಸ್ಥಾಯೀ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವಾದರೆ, ಅದರ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯು $m_0c^2 = 0.51$ Mev ಕಣದ್ವಂದಕ್ಕೆ (pair) ಈ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿಯು 1.02 Mev.

hv ಎಂಬುದು ಮೂಲ γ – ಕಿರಣದ ಶಕ್ತಿಯಾದರೆ,

$$h\nu = E^{+} + E^{-} + 0.02 \text{ Mev.} \quad \ldots \quad 9.1$$

E^{+}, E_{-} ಗಳು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಚಲನ ಶಕ್ತಿ (kinetic energy) ಪ್ರಮಾಣಗಳು.

ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ (9.5) γ – ಕಿರಣದ ಶಕ್ತಿಯು ನಾಶದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎರಡು ದ್ರವ್ಯಕಣಗಳು (e^{+}, e^{-}) – γ – ಕಿರಣವು ಪರಮಾಣುಬೀಜಕ್ಕೆ ಅತಿಸಮೀಪ ದಲ್ಲಿ ಹೋಗುವಾಗ, ಅಲ್ಲಿನ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ, γ – ಕಿರಣವು ನಾಶ ವಾಗಿ, ಅದರ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ಈ ಕಣದ್ವಂದ್ವವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ.



ಚಿತ್ರ 9.5 ಕಣದ್ವಂದ್ವಗಳ ಉತ್ಪಾದನೆ

N ಎಂಬುದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜ. ಇದಕ್ಕೆ ಬಹಳ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿ γ – ಕಿರಣವು ಚಲಿಸುವಾಗ, ಅಲ್ಲಿಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ, ಆ ಕಿರಣವು ನಾಶವಾಗಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿಯಾಗಿ e^-, e^+ ಎಂಬ ಎರಡು ಕಣಗಳು ಉದ್ಭವಿಸುವುವು.

ಶಕ್ತಿನಾಶ ಮತ್ತು ಅದರಿಂದ ದ್ವಂದ್ವ ಕಣಗಳ ಉದ್ಭವವನ್ನು ಡೈರಾಕ್ (Dirac) ಮೊದಲೇ ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಿದ್ದನು. 1934 ರಲ್ಲಿ ಲಾರಿಟ್ಸನ್ ಇಂಗಾಲ (Carbon) ಫಲಕದಮೇಲೆ ಡ್ಯುಟರಾನ್ ($_1H^2$) ಗಳ ಘರ್ಷಣೆಯ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ $_7N^{13}$ ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಿಂದ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೊರಬೀಳುವುದನ್ನು ತೋರಿಸಿದನು—ಈ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ನಾಶವಾಗಿ $\frac{1}{2}$Mev ಶಕ್ತಿಯ γ – ಕಿರಣವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಆಧಾರವನ್ನು ಕಂಡನು ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿದರೆ, ಎರಡು ನಾಶವಾಗಿ, 1.02 Mev ಶಕ್ತಿಯು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಗೆ ಪ್ರತಿಕಣವೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು (anti-particle).

ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ಅವುಗಳ ಅಕ್ಷದಸುತ್ತಲೂ ಅವುಗಳ ದ್ರವ್ಯಕೇಂದ್ರದ ಮೂಲಕ ಭ್ರಮಣಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಆಗ ಈ ಕಣದ್ವಂದ್ವವನ್ನು ಪಾಸಿಟ್ರೋನಿಯಂ (Positronium) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಗೊತ್ತಾಗುವುದೇನೆಂದರೆ. ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಸ್ವಲ್ಪಕಾಲ ಮುಕ್ತಸ್ಥಿತಿ (free state) ಯಲ್ಲಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಅದರ ಸರಾಸರಿ ಜೀವಿತ ಕಾಲವು ಸುಮಾರು 10^{-7} ಇಂದ 10^{-10} ಸೆಕೆಂಡ್‌ಗಳಾಗಿರಬಹುದು. ಇದರಿಂದಲೇ ಅದನ್ನು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕವಾಗಿ ಗುರುತಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿರಲಿಲ್ಲ.

ಪ್ರೇರೇಪಿತ ವಿಕಿರಣಕ್ರಿಯಾಶಕ್ತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಹಲವಾರು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು (e^+) ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಂದ ಕಂಡುಬರುತ್ತದೆ.

$$_5B^{10} + {_2He^4} \rightarrow {_7N^{13}}^+ + {_0n^1} + p$$

$$_7\overset{+}{N}{}^{13} \rightarrow {_6C^{13}} + {_{+1}e^0}$$

$$_{12}Mg^{24} + {_2He^4} \rightarrow {_{14}}^+Si^{27} + {_0n^1}$$

$$_{14}{}^+Si^{27} \rightarrow {_{13}Al^{27}} + {_{+1}e^{\circ}} \qquad ...9\cdot3$$

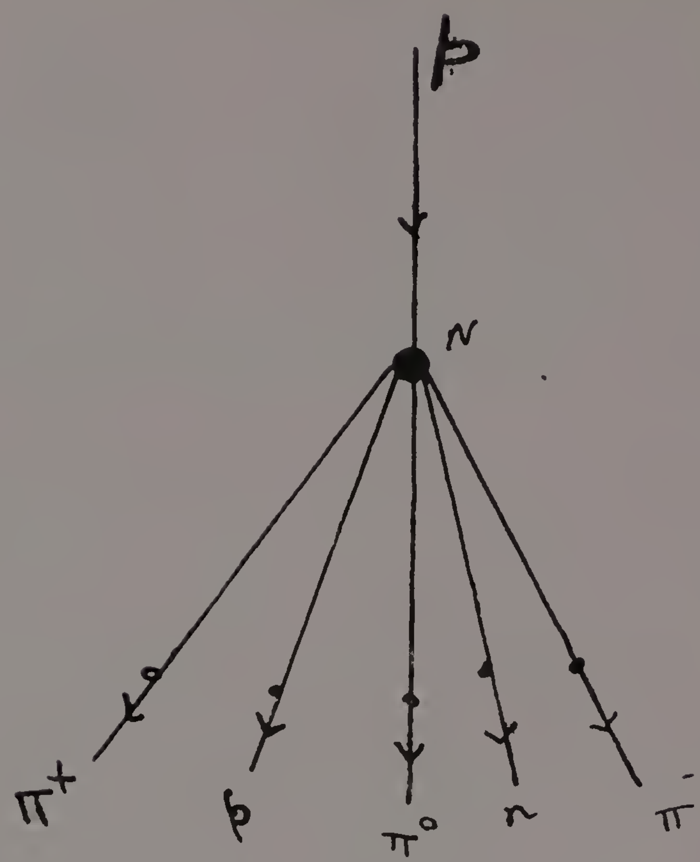
ಇದೇ ರೀತಿಯಾಗಿ ಅನೇಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೊರಬೀಳು ವುದು.

9.4 ಮೀಸಾನ್ (Meson)

ಇದುವರೆವಿಗೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳ ವಿವರಗಳನ್ನು ತಿಳಿದಂತಾಯಿತು. ಇವುಗಳೊಂದಿಗೆ ಮತ್ತೊಂದು ಮೂಲಭೂತಕಣ (fundamental particle) ವನ್ನೂ ಸೇರಿಸಬಹುದು. ಇದೇ ಮೆಸೋಟ್ರಾನ್ ಅಥವಾ ಮೀಸಾನ್. ಇದರ ವಿದ್ಯುದಂಶವೂ ಒಂದು ವಿದ್ಯುದಂಶಮಾನವಾಗಿದ್ದರೂ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮಾತ್ರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದರ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯು 1937 ರಲ್ಲಿ ಮೊದಲು ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಆದರೆ ಇದಕ್ಕಿಂತ ಎರಡು ವರ್ಷಗಳ ಹಿಂದೆಯೇ ಯೂಕಾವಾ (yukava) ಎಂಬ ಜಪಾನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಇಂಥ ಕಣದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ತಾತ್ತ್ವಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಪ್ರಕಟಿಸಿದ್ದನು.

1938 ರಲ್ಲಿ ಆಂಡರ್‌ಸನ್ ಮತ್ತು ನೆಡರ್ ಮೇಯರ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಗಳು ಈ ಕಣಗಳನ್ನು ತಮ್ಮ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿ ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಗಟ್ಟಿ ಮತ್ತು ಮೃದು (Hard and Soft) ಎಂಬ ಎರಡು ಬಗೆ ಇರುತ್ತವೆ. ಮೊದಲನೆಯ ಗುಂಪು ಸಮುದ್ರಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 75% ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಮೇಘಮಂದಿರದ ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸುವಾಗ, ಆ ಪಥಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಧನ ಮತ್ತು ಋಣ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳಲ್ಲದೆ, ಕೆಲವು ಪ್ರತ್ಯೇಕ ಪಥಗಳಿದ್ದುವು. ಇವುಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವಾದ ಕಣಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಿದಮೇಲೆ, ಅವುಗಳಿಗೆ ಬಹಳ ತೀಕ್ಷ್ಣತೆ ಇದ್ದು, ಸುಮಾರು 100 ಸೆಂ.ಮೀ. ಸೀಸದ ಮೂಲಕ ತೂರಲು ಬೇಕಾದ ಶಕ್ತಿಯಿರುವುದಾಗಿ ಗೊತ್ತಾಯಿತು.

ಈ ಕಣಗಳು ಹೇಗೆ ಉತ್ಪತ್ತಿಯಾಗಬಹುದು -ಎಂಬುದಕ್ಕೆ ಪ್ರಾಥಮಿಕ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳು ವಾಯುಮಂಡಲದ ಮೇಲ್ಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿ ಗಾಳಿಯ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗಳೊಂದಿಗೆ ಘರ್ಷಣೆಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿರಬಹುದೆಂದು ಊಹಿಸಲಾಯಿತು.



ಚಿತ್ರ 9·6 ಮೀಸಾನ್

ಒಂದು ಪ್ರಾಥಮಿಕ ವಿಶ್ವಕಿರಣ (P)ವು N ಎಂಬ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜವನ್ನು ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಇದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಕಣಗಳಲ್ಲಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ (p), ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (n) ಗಳಲ್ಲದೆ ಮೂರು ಬಗೆಯ ಹೊಸ ಮಾದರಿಯ ಕಣಗಳು π^+, π^0, π^- ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನೇ π ಮೀಸಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳು (+e), (o), ಅಥವಾ (−e) ಆಗಿರಬಹುದು. ಆದರೆ, ಇವುಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಮಾತ್ರ ಸುಮಾರು $275m_e$ ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, m_e = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವಾದರೆ ಇದರ 275 ಪಾಲಷ್ಟು ಹೆಚ್ಚು ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು ಮೀಸಾನ್ (ಅಥವಾ ಮಧ್ಯಕಣ) ವು ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ.

ವಿದ್ಯುದಂಶವಿರುವ π ಮೀಸಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲವು ಸುಮಾರು 2×10^{-8} ಸೆಕೆಂಡ್. ಇದು ಕ್ಷಯ ಹೊಂದಿ, ಬೇರೊಂದು ಮ್ಯೂಯಾನ್ (muon) ಅಥವಾ μ ಕಣವಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದಿ, ಮತ್ತೊಂದು ಅತ್ಯಲ್ಪ ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಎಂಬ ಕಣವೂ ಹೊರಬೀಳುತ್ತದೆ. ಮ್ಯೂಯಾನ್ ಕಣವು 2×10^{-6} ಸೆಕೆಂಡ್ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತ ಕಾಲವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಮತ್ತೆ ಕ್ಷಯಿಸಿ, ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು 2 ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ (ν_o) ಗಳಾಗುತ್ತದೆ. ಶಕ್ತಿ ಮತ್ತು ಆ ವೇಗಗಳ ನಿತ್ಯತ್ವದ ನಿಯಮಗಳ ಆಧಾರದಮೇಲೆ ಪೌಲಿ (Pauli) ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಕಣದ ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಬೇಕಾಯಿತು.

ವಿದ್ಯುದಂಶವಿಲ್ಲದ (π^0) ಮೀಸಾನ್ ಕೂಡ ಬಹಳ ಅಭದ್ರ ರಚನೆಯನ್ನು ಹೊಂದಿದೆ. ಇದರ ಅರ್ಧ ಜೀವಿತಕಾಲವು 10^{-14} ಸೆಕೆಂಡ್ ಮಾತ್ರ ಇದ್ದು, ಇದು ಕ್ಷಯಿಸುವುದರಿಂದ 2γ – ಕಿರಣಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. ಈ γ–ಕಿರಣಗಳಿಂದಲೇ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ್ವಂದ್ವ (electron pair) ಉದ್ಭವಿಸುತ್ತದೆ.

ಈ ಮೂರು ಅಭದ್ರ ಮೀಸಾನ್ π^+, π^0, π^- ಕಣಗಳ ಕ್ಷಯದ ವಿಧಾನವನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ (97).



ಚಿತ್ರ 9·7 ಮೀಸಾನ್‌ಗಳ ಕ್ಷಯವಿಧಾನ

π^0, π^+, π^- ಕಣಗಳು ಮೀಸಾನ್‌ಗಳು. e^+ ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್, e^- ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್. μ^+, μ^- (ಮ್ಯೂಯಾನ್) ν, $\bar{\nu}$ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋಗಳು.

μ ಮೀಸಾನ್‌ಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು ಸುಮಾರು 210m_e ಆಗಿರುತ್ತದೆ. ಸಮುದ್ರದ ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಕಾಣಿಸುವ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ವಿಶ್ವಕಿರಣಗಳಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 70% ಮ್ಯೂಯಾನ್‌ಗಳೂ, 29% ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಉಳಿದ 1% ಪ್ರೋಟಾನ್, ಡ್ಯೂಟರಾನ್, α ಕಣಗಳಾಗಿರಬಹುದು.

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ ಮೀಸಾನ್‌ಗಳಲ್ಲಿ ಪೈಯಾನ್ (π) ಮತ್ತು (μ) ಮ್ಯುಯಾನ್ ಎಂಬ ಎರಡು ಬಗೆ ಕಣಗಳಿವೆ. ವೇಗೋತ್ಕರ್ಷಕ ಸಾಧನಗಳಲ್ಲಿ ಪೈಯಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಉತ್ಪಾದಿಸಬಹುದು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ π^+, π^- ಮತ್ತು π^0 ಎಂಬ ಮೂರು ಸಾಧ್ಯತೆಗಳಿವೆ. ಮೊದಲೆರಡೂ ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ ಮೂರನೆಯದು ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯಕಣವಾಗಿದೆ.

π^+ ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು 273 m_e (m_e = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ದ್ರವ್ಯಾಂಶ).

π^0 ಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವು 264 m_e

π^0 ಕಣಗಳು ನಾಶಹೊಂದಿ ಸುಮಾರು 134 Mev ಶಕ್ತಿಯು ಎರಡು γ ಕಿರಣಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತವೆ.

π^- ಕಣಗಳು ಪರಮಾಣುಬೀಜಗಳೊಂದಿಗೆ ಸುಲಭವಾಗಿ ಗ್ರಹಣವಾಗುತ್ತವೆ. π^+ ಕಣಗಳು ಅಪಕರ್ಷಣವಾಗುತ್ತವೆ.

π^+ ಕಣವು ಅತ್ಯಲ್ಪಕಾಲದಲ್ಲಿ ಕ್ಷಯಿಸಿ, ಮ್ಯೂಯಾನ್ μ^+ ಮತ್ತು $\left(\nu_\mu\right)$ ಮ್ಯೂನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಆಗಿ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu. \qquad \ldots \quad 9.4$$

ಹಾಗೆಯೇ $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ (ಆಂಟಿನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ) ... 9.5

μ^+, μ^- ಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳು 207 m_e.

ಇವುಗಳೂ ಅಲ್ಪಜೀವಿಗಳು. ಈ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ

$\mu^- = e^- + \nu^- + \nu_\mu.$ (e^- = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ;

ν^- = ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್. ಆಂಟಿನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ

$\mu^+ = e^+ + \nu + \bar{\nu}_\mu.$ e^+ = ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ;

$\bar{\nu}_\mu$ = ಮ್ಯೂಯನ್ ಆಂಟಿನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ

.. 9.6

ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶವೇನೆಂದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ν, ಮ್ಯೂಯಾನ್ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ν_μ ಒಂದೇ ಅಲ್ಲ. ಇವು ಬೇರೆಬೇರೆ ಕಣಗಳಾಗಿದ್ದು ಒಂದೊಂದಕ್ಕೂ ಒಂದು ಪ್ರತಿಕಣವು ν^- ಮತ್ತು ν^-_μ ಇರುತ್ತದೆ.

ಪೈಯಾನ್‌ಗಳು$(\mu)_1$ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಲ್ಲಿರುವ ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲದೊಡನೆ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ. ನಮ್ಮ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದೊಂದು ಬೀಜಕಣದ ಸುತ್ತಲೂ ಒಂದು ಪೈಯಾನ್ ಮೇಘವು (Pion Clood) ಆವರಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಕಲ್ಪನೆಯ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣುಬೀಜಗಳ ನಡುವಣ ಬಂಧಕ ಬಲಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವೇನೆಂದರೆ, ಪಯಾನ್‌ಗಳ ವಿನಿಮಯವೇ – ಇದನ್ನು ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವಣ ಬಂಧಕ ಬಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ - ವಿನಿಮಯದ ಬಲಗಳಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಹೋಲಿಸಬಹುದು.

9.5. **ಕಣಗಳು-ಪ್ರತಿಕಣಗಳು** (Particles and Anti-Particles)

1955ರಲ್ಲಿ ಕ್ಯಾಲಿಫೋರ್ನಿಯಾ ವಿಶ್ವವಿದ್ಯಾಲಯದ ಪ್ರಯೋಗಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಸಂಶೋಧನೆಗಳನ್ನು ನಡೆಸುತ್ತಿರುವ ಕಾಲದಲ್ಲಿ ಸೆಗ್ರೆ (Segre), ಚಾಂಬರ್ಲೇನ್ ಮತ್ತು ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗೆ ಪ್ರತಿಕಣದಂತೆ ವರ್ತಿಸುವ ಒಂದು ಕಣದ ವಾಸ್ತವ್ಯತೆಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿದರು. ಈ ಕಣವು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದಷ್ಟೇ

ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿ, ವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಋಣ ಅಂಶ ($-e$) ವನ್ನಾಗಿ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ, ಅವರು ತಮ್ಮ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಬೀವಾಟ್ರಾನ್ (Bevatron) ಎಂಬ ಸಾಧನದಿಂದ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣಗಳ ವೇಗವನ್ನು 6 Bev (6000 Mev)ಗೆ ಏರಿಸಿ, ಈ ಕಣಗಳನ್ನು, ತಾಮ್ರವಸ್ತುವನ್ನು ಲಕ್ಷ್ಯವನ್ನಾಗಿಟ್ಟು (Target) ಅದರ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗಮಾಡಿಸಿದರು. ಈ ಘರ್ಷಣೆಯ ಫಲವಾಗಿ ನಡೆದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಶಕ್ತಿಯನ್ನುಹೊಂದಿ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣದಷ್ಟೇ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ವನ್ನೂ ಅಷ್ಟೇ ಋಣವಿದ್ಯುದಂಶವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳು ಹೊರಬಿದ್ದುವು- ಇವುಗಳನ್ನು ಪ್ರಬಲ ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರದಲ್ಲಿಡುವುದರ ಮೂಲಕ ಅವುಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ವಿರುದ್ಧ ದಿಕ್ಕಿನಲ್ಲಿ ಬಾಗುವುದಾಗಿ ತಿಳಿದುಬಂದಿತು. ಇದನ್ನು ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ($\overline{p}$) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಯಿತು.

ಈ ಕ್ರಿಯೆಯನ್ನು ಹೀಗೆ ಚಿತ್ರಿಸಬಹುದು

$$p+p+\text{ಶಕ್ತಿ} \rightarrow p+p+\overline{p}+p. \quad (\overline{p}=\text{ಪ್ರತಿ ಪ್ರೊಟಾನ್}) \quad \dots \quad 9.7$$

ಘರ್ಷಣೆ ಮಾಡುವ ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಕಣದ ಶಕ್ತಿಯು ಪ್ರೋಟಾನ್, ಪ್ರತಿಪ್ರೋಟಾನ್ ದ್ವಂದ್ವ (proton - antiproton pair) ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುತ್ತದೆ. ಇದ ರೊಂದಿಗೆ ನಾಲ್ಕು ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯೂ ಸೇರುತ್ತದೆ. ಪ್ರತಿಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದ ವೇಗವು ಕಡಮೆಯಾದಕೂಡಲೇ, ಅದು ಒಂದು ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣದಿಂದ ನಾಶಹೊಂದುತ್ತದೆ, ಅಂದರೆ ಈ ಎರಡು ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು ನಾಶವಾಗಿ, ಅದರ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಐದು ಪಯಾನ್ (Pions) ಗಳೂ ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿಯೂ ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತವೆ.

$$p+\overline{p}\rightarrow\pi^{+}+\pi^{-}+\pi^{+}+\pi^{-}+\pi^{0} \quad \dots \quad 9.8$$

ಇದರಲ್ಲಿ 2 π^{+} ಕಣಗಳೂ, 2 π^{-} ಕಣಗಳೂ π^{0} ಕಣವೂ ಇರುತ್ತವೆ - ಈ ಎಲ್ಲ ಕಣಗಳನ್ನೂ ಅವುಗಳ ಪಥಗಳ ಮೂಲಕ ಬುದ್ಬುದನಿಲಯ (Bubble chamber)ದ ಉಪಕರಣದಿಂದ ಗುರುತಿಸಬಹುದು.

1956 ರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ (n) ಕಣಕ್ಕೂ ಒಂದು ಪ್ರತಿಕಣವು ($\overline{n}$) ಕಂಡು ಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿತು. ಆದರೆ, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ, $\overline{n}$ ಕಣಕ್ಕೂ ವಿದ್ಯುದಂಶವಿಲ್ಲ. ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್, ಪ್ರತಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಒಟ್ಟು ಗೂಡಿದರೆ ನಾಶವಾಗುವುವು - ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಉದ್ಭವವಾಗುತ್ತದೆ.

ಇದನ್ನೆಲ್ಲ ಪರಿಶೀಲಿಸಿದರೆ, ಪ್ರಕೃತಿಯ ಮರ್ಮದಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದು ಕಣಕ್ಕೂ ಒಂದೊಂದು ಪ್ರತಿಕಣವೂ ಸೃಷ್ಟಿಯಾಗಿರುವಂತೆಯೂ, ಅವುಗಳೆರಡೂ ಸೇರಿದರೆ, ದ್ರವ್ಯನಾಶವಾಗಿ ಅದಕ್ಕೆ ಸಮಾನವಾದ ಶಕ್ತಿಯು ಉದ್ಭವವಾಗುವಂತೆಯೂ ತಿಳಿದುಬರುತ್ತದೆ.

(i) e^+, e^-, ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್, (ಅಥವಾ ಪ್ರತಿಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್), ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್

(ii) $p^{(+)}$, $\overline{p}^-$ ಪ್ರೊಟಾನ್, ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್

(iii) n, $\overline{n}$ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್, ಪ್ರತಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್. ಇತ್ಯಾದಿ

ಹಾಗೆಯೇ π^-, π^+ ಕಣಗಳು, ಪ್ರತಿಕಿರಣಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ಆದರೆ, ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಅನೇಕ ಕಣಗಳಿಗೆ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿದ್ದು, ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಕಣಗಳಿಗೆ ಕ್ಷಯು ಹೊಂದುತ್ತವೆ–π_- ಕಣವು ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದಿಂದ ಗ್ರಹಣವಾಗಬಹುದು ಅಥವಾ μ^- ಕಣದ ರೂಪಕ್ಕೆ ಕ್ಷಯಿಸಬಹುದು. ಇದು π^+ ಕಣಕ್ಕೂ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ. ಈಗ ಒಂದು ಪಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಒಂದು ಪ್ರತಿ ಪ್ರೊಟಾನ್ ಕಣಗಳಿಂದ ಒಂದು ಪ್ರತಿ ಜಲಜನಕ ಪರಮಾಣವು ಉದ್ಭವವಾಗ ಬಹುದು.

ಒಂದೊಂದು ಕಣಕ್ಕೂ ಬದಲಾಗಿ, ಅದರ ಪ್ರತಿ ಕಣವನ್ನು ರೂಪಿಸುತ್ತ ಹೋದರೆ, ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್, ಪ್ರತಿ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರತಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (p^-, n^-, e^+) ಗಳಿಂದ ಪ್ರತಿ ದ್ರವ್ಯದ ಒಂದು ಹೊಸ ಪ್ರಪಂಚವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸ ಬಹುದು. ಅಂದರೆ, H, O ಗೆ ಬದಲಾಗಿ H^-, O^- – ಗಳು ಇರುತ್ತವೆ. ಆ ಸಂದರ್ಭ ಒದಗಿದರೆ, ಒಂದು ದ್ರವ್ಯದ ವಸ್ತುವೂ, ಪ್ರತಿ ದ್ರವ್ಯದ ವಸ್ತುವೂ (Anti-Matter) ಘರ್ಷಣೆಗೊಂಡರೆ, ಅವುಗಳ ನಾಶವಾಗಿ, ಅವುಗಳ ಸ್ಥಾನದಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿಯ ಇತರ ರೂಪಗಳು ಉದ್ಭವವಾಗಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಕಣಗಳನ್ನೂ ವಿಂಗಡಿಸಿದರೆ, ಎರಡು ಗುಂಪುಗಳು ಬರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿರುವ ಕಣ ಗಳ ಮುಖ್ಯ ವ್ಯತ್ಯಾಸವೇನೆಂದರೆ, ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳು ವಿರುದ್ಧ ಚಿಹ್ನೆ ಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ.

ಈ ಗುಂಪುಗಳನ್ನು ಲೆಪ್ಟಾನ್, ಮ್ಯುಯಾನ್, ಮೀಸಾನ್ ಮತ್ತು ಬಾರಿ ಯಾನ್ ಎಂಬ ನಾಲ್ಕು ವಿಭಾಗಗಳನ್ನಾಗಿ ಮಾಡಲಾಗಿದೆ.

9.6 ವಿಚಿತ್ರ ಕಣಗಳು (Strange Particles)

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಮೂಲಭೂತವಾದ ಕಣಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್ ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್, ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮಾತ್ರ ಇರುವುದು ವ್ಯಕ್ತ ವಾಗಿದೆ. ಆದರೆ, ಇವೇ ಅಲ್ಲದೆ, ಇತರ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವಾಗಿ, ಮೀಸಾನ್, ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಮುಂತಾದ ಹಲವಾರು ಹೊಸ ಕಣಗಳು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟಿವೆ. ಹೀಗಾಗಿ, 1964ರ ವೇಳೆಗೆ ಸುಮಾರು 89 ಮಾದರಿಯ ಅತಿ ಶೀಘ್ರವಾದ ಅಂತರ

ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿ ಮೂಲ ಕಣ (elementary particles) ಗಳೆಂದು ತಿಳಿಯ ಬಹುದಾದ ಕಣಗಳು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟುವು. ಇಷ್ಟು ದೊಡ್ಡ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಕಣ ಗಳನ್ನು ಯಾವ ವಿಧಾನದಿಂದ ಗುಂಪುಗಳನ್ನಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಬಹುದೆಂಬುದೇ ದೊಡ್ಡ ಪ್ರಶ್ನೆಯಾಗಿ ಉಳಿಯಿತು. ಈ ವಿಭಾಗವನ್ನು ಒಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಮಾಡಿ ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಪಟ್ಟಿಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ವಿಂಗಡಿಸಿರುವ ಕೀರ್ತಿಯು ಎಂ. ಗೆಲ್‌ಮಾನ್ (M. Gellmaun) ಮತ್ತು ಆತನ ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳಿಗೆ ಸಲ್ಲತಕ್ಕದ್ದು. ಈ ವಿಭಾಗಗಳಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಿರುವ ಮುಖ್ಯ ಲಕ್ಷಣಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ :

(1) ಸ್ಥಾಯೀ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಅಥವಾ ಅದರ ಸಮಾನ ಶಕ್ತಿ ಪ್ರಮಾಣ Mev ಮಾನದಲ್ಲಿ

(2) ಭ್ರಮಣ ಕೋನೀಯ ಆವೇಗ (J)–ಇದು $\bar{h}$ ಮಾನದಲ್ಲಿ $\left(\bar{h} = \frac{h}{2\pi}\right)$.

(3) ಪರಮಾಣು ತೂಕದ ಸಂಖ್ಯೆ (A)–ಇದನ್ನು ಬೇರೆಯಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆ (Baryon number) ಎಂದು ಸೂಚಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ.

(4) ಕಣದ ವಿದ್ಯುದಂಶ (Q) ಇದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವಿದ್ಯುದಂಶ (e) ದ ಮಾನದಲ್ಲಿರುತ್ತದೆ

ಹೀಗೆ ವಿಂಗಡಿಸಿದರೆ, ನಾಲ್ಕು ಮುಖ್ಯ ವಿಭಾಗಗಳು, ದ್ರವ್ಯಾಂಶದಹಂಚಿಕೆಯ ಪ್ರಕಾರ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ.

(i) **ಲೆಪ್ಟಾನ್** (Lepton) – ಅತಿ ಸಣ್ಣ ಪ್ರಮಾಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶ ಇದರಲ್ಲಿ ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ,ν, $\bar{\nu}$, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ $\bar{e}$ ಮತ್ತು ಮ್ಯುಯಾನ್ μ ಗಳನ್ನು ಸೇರಿಸಬಹುದು.

(ii) **ಮೀಸಾನ್** (Meson) π ಮೀಸಾನ್ ಮತ್ತು k ಮೀಸಾನ್ **ಪಯಾನ್ ಮತ್ತು ಕೇಯಾನ್** ಇವುಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳು $135m_e$ ಮತ್ತು $494m_e$.

(iii) **ಬೇರಿಯಾನ್** (Baryon) ಇವುಗಳ ತೂಕಗಳು ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವುವು. ಈ ಗುಂಪಿನಲ್ಲಿ p, n ಗಳಲ್ಲಿವೆ, Λ (ಲಾಂಬ್ಡಾ), Σ (ಸಿಗ್ಮ) ಮತ್ತು Ξ (ಕ್ಸೈ) ಗಳು ಇರುತ್ತವೆ.

(iv) **ಹೈಪರಾನ್** (Hyperon) **ಪ್ರೋಟಾನ್‌ಗಿಂತ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ದ್ರವ್ಯಾಂಶದ ಕಣಗಳು** Ω (ಒಮಿಗ,) Ξ (ಕ್ಸೈ) ಇತ್ಯಾದಿ.

ವಿವಿಧ ಕಣಗಳ ಮಾದರಿಗಳ ಪಟ್ಟಿ

ಗುಂಪಿನ ಹೆಸರು	ಕಣ	ಸಂಕೇತ	ದ್ರವ್ಯಾಂಶ m_e ಮಾನದಲ್ಲಿ (A)	ವಿದ್ಯುದಂಶ e ಮಾನ Q	$\frac{h}{2\pi}=\hbar$ ಮಾನ ಭ್ರಮಣ ಆವೇಗ J	ಜೀವಿತ ಕಾಲ
	ಪ್ರೋಟಾನ್	γ	0	ಶೂನ್ಯ	1	ಅನಂತ
	ಗ್ರಾವಿಟಾನ್	–	0	ಶೂನ್ಯ		ಅನಂತ
ಲೆಪ್ಟಾನ್	ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್	e^-	1	ಋಣ (—)	$\frac{1}{2}$	ಅನಂತ
	ನ್ಯೂಟ್ರಿನೊ	ν_e	1	ಶೂನ್ಯ (0)	$\frac{1}{2}$	ಅನಂತ
	ಮ್ಯುಯಾನ್	μ^-	207	ಋಣ (—)	$\frac{1}{2}$	$2 \cdot 2 \times 10^{-6}$ ಸೆಕೆಂಡ್
ಮೀಸಾನ್	ಪಯಾನ್	π^+	273·2	+	0	$2 \cdot 6 \times 10^{-8}$ ಸೆಕೆಂಡ್
		π^-	273·2	–	0	$2 \cdot 6 \times 10^{-8}$ ಸೆಕೆಂಡ್
		π^0	264·2	0	0	$1 \cdot 8 \times 10^{-16}$ ಸೆಕೆಂಡ್
	ಕೇಯಾನ್	k^+	966	+	0	$1 \cdot 23 \times 10^{-8}$ ಸೆಕೆಂಡ್
		k^0	975	0	0	10^{-10} ಇಂದ 10^{-8} ಸೆಕೆಂಡ್
	ಈಟ	η^0	1074	0		10^{-22} ಸೆಕೆಂಡ್
ಬೇರಿಯಾನ್	(ನ್ಯೂಕ್ಲಿಯಾನ್) ಪ್ರೊಟಾನ್	p	1836	+	$\frac{1}{2}$	ಅನಂತ
	ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್	n	1839	0	$\frac{1}{2}$	1013 ಸೆಕೆಂಡ್
ಹೈಪರಾನ್	ಲಾಂಬ್ಡ	Λ^0	2183	0	$\frac{1}{2}$	$2 \cdot 6 \times 10^{-10}$ ಸೆಕೆಂಡ್
	ಸಿಗ್ಮ	Σ^+	2328	+	$\frac{1}{2}$	8×10^{-11} ಸೆಕೆಂಡ್
		Σ^-	2343	–	$\frac{1}{2}$	$1 \cdot 6 \times 10^{-10}$ ಸೆಕೆಂಡ್
		Σ^0	2333	0	$\frac{1}{2}$	10^{-20} ಸೆಕೆಂಡ್
	ಕ್ಸೈ	Ξ^-	2585	–	$\frac{1}{2}$	$1 \cdot 7 \times 10^{-10}$ ಸೆಕೆಂಡ್
		Ξ^0	2572	0	$\frac{1}{2}$	3×10^{-10} ಸೆಕೆಂಡ್
	ಒಮೆಗ	Ω^-	3280	–		10^{-10} ಸೆಂಕೆಡ್

ಇವುಗಳೊಂದಿಗೆ, ಫೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಗ್ರಾವಿಟಾನ್‌ಗಳನ್ನೂ ಸೇರಿಸಬಹುದು.

ಇವುಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳು ಗಮನಾರ್ಹವಾಗಿಲ್ಲದಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳನ್ನು O ಎಂದು ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

ಕೆಳಗಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಕಣಗಳ ಗುಣವಿಶೇಷಗಳನ್ನು ನಮೂದಿಸಿದೆ.

ಮೇಲಿನ ಪಟ್ಟಿಗೆ, ಪ್ರತಿಕಣಗಳನ್ನೂ ಸೇರಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು.

ಇವೇ ಅಲ್ಲದೆ, 10^{-22} ಸೆಕೆಂಡ್, 10^{-23} ಸೆಕೆಂಡ್ ಅಂದರೆ ಅತ್ಯಲ್ಪ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಹಲವಾರು ಅನುರಣಕಗಳು (Resonances) ಇರುವುವೆಂದು ನಂಬಲಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು (particles) ಎಂದು ಭಾವಿಸಲಾಗುವುದಿಲ್ಲ.

ಈ ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳು ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಮತ್ತು ಪರಿವರ್ತನೆಗಳು ಇವುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಂತೆ ಕೆಲವು ಪ್ರಧಾನನಿಯಮಗಳಿವೆ. ಅವುಗಳನ್ನು ಹೀಗೆ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

(1) ಶಕ್ತಿಯ ನಿತ್ಯತ್ವದ ನಿಯಮ

ಇದಕ್ಕೆ ಅನುಸಾರವಾಗಿ ಒಂದು ಕಣವು ಮತ್ತೊಂದು ಕಣಕ್ಕೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುವಾಗ, ಈ ಕ್ಷಯಕ್ರಿಯೆಯಲ್ಲಿ ಮೂಲಕಣದ ದ್ರವ್ಯಾಂಶವೂ, ಉತ್ಪನ್ನ ಕಣಗಳ ದ್ರವ್ಯಾಂಶಗಳೂ ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು. ಶಕ್ತಿಯನ್ನೂ, ದ್ರವ್ಯಾಂಶವನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ ಲೆಕ್ಕಾಚಾರ ಮಾಡುವಾಗ, ಐನ್‌ಸ್ಟೈನ್ ಸೂತ್ರ ($E=Mc^2$) ವನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬೇಕು.

(2) ಕೋನೀಯ ಆವೇಗದ ನಿತ್ಯತ್ವದ ನಿಯಮ

ಮೇಲಿನ ಪಟ್ಟಿಯಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿರುವಂತೆ ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಎಲ್ಲ ಮೂಲಭೂತ ಕಣಗಳಿಗೂ ಭ್ರಮಣ ಆವೇಗವು ಇದ್ದೇ ಇರುತ್ತದೆ. ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇದನ್ನು ಸರಿದೂಗಿಸುವುದು ಬಹಳ ಅವಶ್ಯಕ–ಇದಕ್ಕಾಗಿಯೇ, ಪೌಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ನ್ಯೂಟ್ರಿನೋ ಕಣದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿದ ವಿಷಯವನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ.

ಒಂದು ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ವಿವರಿಸಬಹುದು.

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu^- \quad \ldots \quad 9{\cdot}9$$

ಇವರಲ್ಲಿ π^- ಕಣಕ್ಕೆ ಭ್ರಮಣ ಸಂಖ್ಯೆಯು O ಆಗಿರುವುದರಿಂದ, μ^- ಮತ್ತು ν^- ಕಣಗಳಿಗೆ $\frac{1}{2}$ ಸಂಖ್ಯೆಯಿದ್ದು ಅವುಗಳ ಭ್ರಮಣ ಮಾಡುವ ದಿಕ್ಕುಗಳು ವಿರುದ್ಧವಾಗಿರಬೇಕು. ಹಾಗಾದರೆ $(\frac{1}{2}-\frac{1}{2})=O$ ಆಗಲು ಸಾಧ್ಯ.

(3) ವಿದ್ಯುದಂಶದ ನಿತ್ಯತ್ವ ನಿಯಮ

ಇದರ ತತ್ವ್ತವೇನೆಂದರೆ, ಎಲ್ಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುದಂಶವು ನಿರ್ಮಾಣವೂ ಆಗುವುದಿಲ್ಲ, ನಾಶವೂ ಆಗುವಂತಿಲ್ಲ.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

(ಒಂದು γ ಕಿರಣವು ನಾಶವಾದರೆ, ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಸಿಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ವಿರುದ್ಧ ಚಿಹ್ನೆಯಾಗಿರಲೇಬೇಕು.

ಹಾಗೆಯೇ $p + p \rightarrow p + p + (p + p^-)$

ಎರಡು ಕಡೆಯೂ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಸಮತೋಲನವಾಗಬೇಕಾದರೆ $(p + p^-)$ ಶೂನ್ಯ ವಿದ್ಯುದಂಶವಾಗಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಪ್ರೋಟಾನ್, ಪ್ರತಿ ಪ್ರೋಟಾನ್ ಕಣಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿದರೆ, ಶಕ್ತಿಯಾಗಿ ಪರಿಣಮಿಸಿ, ಅದಕ್ಕೆ $e = O$ ಆಗಬೇಕು. ಹಾಗಾದರೆ, ಎರಡು ಕಡೆಯೂ $(e + e) = 2e + 0 = 2e$ ಆಗುತ್ತದೆ.

ಹಾಗೆಯೇ $e^+ + e^- = \gamma + \gamma$

ಎರಡು ಕಡೆಯ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಮೊತ್ತವೂ ಶೂನ್ಯವಾಗುತ್ತದೆ.

ಬೇರಿಯಾನ್, ಮೀಸಾನ್, ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಪ್ರತಿಕಣಗಳು ಎಲ್ಲಕ್ಕೂ ವಿಚಿತ್ರ ಕಣಗಳು ಎಂದು (Strange particles) ಕರೆಯಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳನ್ನು ಗುರುತಿಸಲು ವಿಚಿತ್ರತೆಯ ಸಂಖ್ಯೆ (S) ಎಂದು ಹೆಸರಿಡಲಾಗಿದೆ.

ಈ ಎಲ್ಲ ಕಣಗಳಿಗೂ ಅವುಗಳ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲು ನಾಲ್ಕು ಸಂಖ್ಯೆಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಲಾಗಿದೆ. ಅವುಗಳು ಹೀಗಿವೆ

(i) ಬೇರಿಯಾನ್ ಸಂಖ್ಯೆ A ಇದು ಪರಮಾಣು ದ್ರವ್ಯಸಂಖ್ಯೆ (A) ಯಾಗಿಯೇ ಇದೆ. ಇದರ ಮೌಲ್ಯಗಳು 1, 0, – 1 ಆಗಿರಬಹುದು. (ಚಿತ್ರವನ್ನು ನೋಡಬಹುದು.)

(ii) ವಿದ್ಯುದಂಶ (Y)– (Hypercharge)

(iii) ಸಮಸ್ಥಾನಿ ಭ್ರಮಣ ಸಂಖ್ಯೆ. I

(iv) ವಿಚಿತ್ರತೆಯ ಸಂಖ್ಯೆ. S

1961ರಲ್ಲಿ ಗೆಲ್–ಮಾನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಈ ಕಣಗಳೆಲ್ಲವನ್ನೂ ಒಂದು ಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಲು ಎಂಟು ಗುಂಪುಗಳನ್ನಾಗಿ ವಿಂಗಡಿಸಿದನು. ಒಂದೊಂದು ಗುಂಪಿನಲ್ಲಿಯೂ, ಒಂದು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಕಣಗಳಿದ್ದು, ಅವುಗಳ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಸಾಮ್ಯತೆಯಿದ್ದು, ವಿಚಿತ್ರತೆಯ ಸಂಖ್ಯೆ (S) ಮಾತ್ರ ಬೇರೆಯಾಗುತ್ತವೆ.

(1) p_1, n – ಎರಡು ಕಣಗಳು.
(2) Σ^+, Σ°, Σ^- ಮೂರು.
(3) π^+, π°, π^- ಮೂರು. ಇತ್ಯಾದಿ.

ಹೀಗೆ ವಿಂಗಡಿಸುವುದರಿಂದ, ಹೊಸ ಗುಂಪುಗಳನ್ನು ಪೂರ್ವಭಾವಿಯಾಗಿ ಕಲ್ಪನೆ ಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಬಹುದೆಂದು ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಉದಾಹರಣೆಯಾಗಿ Ω^- (ಒಮಿಗ) ಎಂಬ ಹೊಸ ಕಣದ ಸಾಧ್ಯತೆಯನ್ನು ಮೊದಲೇ ಸಾಧಿಸಿ ಅದರ ಪ್ರವ್ಯಾಂಶ ಸಂಖ್ಯೆ, ಮುಂತಾದ ಗುಣಗಳನ್ನು ಊಹಿಸಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಇದನ್ನು ಸಮರ್ಥಿಸುವಂತೆ ಹೊಸ ಕಣವೊಂದು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಲ್ಪಟ್ಟು ಅದನ್ನು ಒಮಿಗ (Ω^-) ಎಂದು ನಾಮಕರಣ ಮಾಡಿ ಅದರ ಪ್ರವ್ಯಾಂಶವು 3274 m_e ಎಂದು ಗೊತ್ತಾಯಿತು. ಅದರ ಇತರ ಗುಣಗಳು ಸಮೀಕ್ಷಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿವೆ.

9.7 ಅಂತರ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ವಿವಿಧ ಮಾದರಿಗಳು (Inter–actions)

ವಿವಿಧ ಕಣಗಳ ನಡುವೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಬಲಗಳನ್ನು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ನಾಲ್ಕು ಮಾದರಿಗಳಾಗಿ ವಿಭಾಗಿಸಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು ಅಂತರ ಕ್ರಿಯೆಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

(a) ಪ್ರಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳು (Strong inter–actions)

ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯವಾದುವು ಬೀಜಕಣಗಳ ನಡುವಣ ಇರುವ ಬಲಗಳು– ಪ್ರೋಟಾನ್, ನ್ಯೂಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ನಡುವೆ ಇರಬೇಕಾದ ಆಕರ್ಷಕ ಶಕ್ತಿಯೇ ಬೀಜದ ಕಣಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸುವ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ. ಇದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಮೀಸಾನ್, ಪಯಾನ್, ಕಣಗಳ ನಡುವೆಯೂ ಇಂಥ ಬಲಗಳನ್ನು ಅನ್ವಯಿಸಬಹುದು. ಬೇರಿಯಾನ್ ಮತ್ತು ಮಿಾಸಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹಡ್ರಾನ್ (Hadrons) ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದ್ದು, ಇವುಗಳೂ ಪ್ರಬಲಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರುತ್ತವೆ.

(b) ವಿದ್ಯುತ್ - ಕಾಂತೀಯ ಅಂತರ ಕ್ರಿಯೆ

ಇದು ಎಲ್ಲ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಕಣಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತವೆ. ಆದರೆ ಮೇಲೆ ಹೇಳಿದ ಪ್ರಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಇವುಗಳು ಸುಮಾರು $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

(c) ದುರ್ಬಲ ಅಂತರ ಕ್ರಿಯೆ (Weak inter-action)

ಇದು β-ಕಣದ ಕ್ಷಯಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳು ಪ್ರಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳ 10^{-12} ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

(d) ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಕ ಕ್ರಿಯೆಗಳು (Gravity)

ಇವುಗಳನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ದುರ್ಬಲ (weakest) ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಗುಂಪಿಗೆ ಸೇರಿಸಬಹುದು ಪ್ರಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳ 10^{-40} ಪಾಲಿನ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಮಾತ್ರ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಪ್ರಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಲು ಅವುಗಳ ಕಾಲಾವಧಿಯನ್ನು ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬಹುದು. ಈ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ಒಂದು ಪಯಾನ್ (π) ಕಣವು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದೊಡನೆ ಹೊಂದಿರಬಹುದಾದ ಕ್ರಿಯೆಯ ಕಾಲಾವಧಿಯು ಸುಮಾರು 10^{-23} ಸೆಕೆಂಡ್.

ಪ್ರಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ, ಕಣಗಳ ಜೀವಿತ ಕಾಲಗಳನ್ನೂ ಗಮನದಲ್ಲಿಡಬಹುದು. ಈ ಕ್ಷಯ ಕಾಲಗಳ (decay) ಪ್ರಮಾಣಗಳು 10^{-23} ಸೆಕೆಂಡ್ ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರಬಹುದು. ಇವುಗಳನ್ನು ಅನುರಣಕಗಳು (Resonances) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ವಿದ್ಯುತ್‌ಕಾಂತೀಯ ಅಂತರ ಬಲಗಳಿಗೆ ಒಳಪಡುವ ಕ್ಷಯಗಳಿಗೆ ಕಾಲಾವಧಿಯು 10^{-20} ಸೆಕೆಂಡ್‌ನಿಂದ 10^{-17} ಸೆಕೆಂಡ್‌ವರೆಗೆ ಇರಬಹುದು. ದುರ್ಬಲ ಕ್ರಿಯೆಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಅವಧಿಗಳು 10^{-10} ಇಂದ 10^{-8} ಸೆಕೆಂಡ್. ಇವುಗಳನ್ನು ಮೇಲಿನ ಪಟ್ಟಿಯಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು.

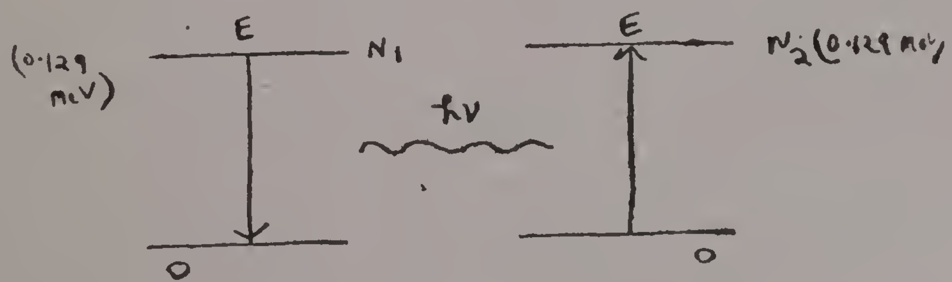
9.8 ಮಾಸ್ ಬಾಯರ್ ಪ್ರಕ್ರಿಯೆ (Moss-bauer effect)

γ– ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಒಂದು ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದರೆ, ಆ ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುಗಳ ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳು γ– ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಗ್ರಹಣಮಾಡುತ್ತವೆ. N_1 ಎಂಬ ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು γ–ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡಿದರೆ, ಅದು ತನ್ನ ಸ್ಥಾಯೀ (ground state) ಯಿಂದ ಒಂದು ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಗೆ ಮೇಲಕ್ಕೆ ಎತ್ತಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಈ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಅದು ಅತ್ಯಲ್ಪ ಕಾಲದಲ್ಲಿದ್ದು ಅಲ್ಲಿಂದ ತನ್ನ ಸ್ವಸ್ಥಾನಕ್ಕೆ ವಾಪಸಾಗುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಹಿಂತಿರುಗುವಾಗ ಅದು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡಿದ್ದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ವಿಕಿರಣ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ವಿಕಿರಣವಾದ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಮತ್ತೊಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು (N_2) ಗ್ರಹಣಮಾಡಿ, ಅದು ತನ್ನ ಸ್ಥಾಯೀ ಸ್ಥಿತಿಯಿಂದ ಉದ್ರೇಕಸ್ಥಿತಿ(excited state)ಗೆ ಒಯ್ಯಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಈ ಎರಡು ಪರಮಾಣು ಬೀಜ ಕಣಗಳ ಶಕ್ತಿ ವಿನಿಮಯವನ್ನು ಅನುರಣ ಕ್ರಿಯೆಯೆಂದು ಹೆಸರಿನಿಂದ ಕರೆಯಬಹುದು

(Nuclear Resonance absorption). ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, γ-ಕಿರಣಗಳ ಸಂಪೂರ್ಣಶಕ್ತಿಯು ($h\nu$) ಒಂದು ಪರಮಾಣು ಬೀಜದಿಂದ ಗ್ರಹಣಮಾಡಲ್ಪಟ್ಟು ಅಷ್ಟೇ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಅದು ವಿಸರ್ಜಿಸಬೇಕು. ಆದರೆ, ವಾಸ್ತವಿಕವಾಗಿ ನೋಡಿದರೆ, ಎರಡು ಮುಖ್ಯ ಆತಂಕಗಳು ಏರ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಹೀಗಿರುತ್ತವೆ. (i) γ-ಕಿರಣವು ವಿಕಿರಣಶೀಲ ವಸ್ತುವಿನಿಂದ ಹೊರಬೀಳುವಾಗ, ಸ್ವಲ್ಪಭಾಗದ ಶಕ್ತಿಯು ಆ ಪರಮಾಣುವಿನ ಬೀಜದ ಹಿಂಜರಿಯುವಿಕೆಯಿಂದ (Recoil) ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ. (ii) ಲಕ್ಷ್ಯವಸ್ತುವಿನ ಎರಡು ಪರಮಾಣು ಬೀಜಗಳು ಸ್ಥಾಯೀಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರದೆ ಪರಸ್ಪರ ಪಲ್ಲಟವನ್ನು ಹೊಂದಬಹುದು. ಇದರಿಂದ ಡಾಪ್ಲರ್ (Doppler) ಕ್ರಿಯೆಗೆ ಅವಕಾಶವಾಗಿ, ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಅನುರಣನಕ್ಕೆ ಪ್ರತಿಬಂಧಕವುಂಟಾಗುತ್ತದೆ.

ಈ ಎರಡು ಪ್ರತಿಬಂಧಕಗಳನ್ನು ಕಡಮೆಮಾಡಿ, ಅನುರಣನದ ನಾಜೂಕತೆ (sharpness of resonance) ಯನ್ನು ಹೆಚ್ಚುಮಾಡುವ ಸಲುವಾಗಿ ಮೊಸ್ ಬಾಯರ್ 1958ರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮಾಡಿದನು. ಆತನು ಮಾಡಿದ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ γ-ಕಿರಣಗಳನ್ನು ಇರಿಡಿಯಂ ($_{77}Ir^{191}$) ಲಕ್ಷ್ಯ ವಸ್ತುವಿನ ಮೇಲೆ ಪ್ರಯೋಗ ಮಾಡಿದನು.

γ- ಕಿರಣಗಳಿಗೆ ಮೂಲವಾದ ವಿಕಿರಣಶೀಲ ವಸ್ತುವನ್ನು ಒಂದು ದೊಡ್ಡ ಹರಳು ಜಾಲಕದ (Crystal lattice) ಆವರಣದಲ್ಲಿ ಹುದುಗಿಡಿಸಿದನು. ಮತ್ತು ಉಪಕರಣವನ್ನು ದ್ರವೀಕೃತ ಆಮ್ಲಜನಕ (liquid oxygen) ದ ಅತಿ ಕನಿಷ್ಠ ಉಷ್ಣಾಂಶ (300°F) ದಲ್ಲಿಟ್ಟನು. ಅವನು ಅಳವಡಿಸಿದ ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ ಹಿಂಜರಿಕೆ (Recoil) ಯ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ, ಡಾಪ್ಲರ್ ಕ್ರಿಯೆಯ ಪರಿಣಾಮವನ್ನೂ ಇಲ್ಲದಂತೆ ಯಶಸ್ವಿಯಾಗಿ ಮಾಡಿದನು. ಅದರ ಫಲವಾಗಿ ಅನುರಣದ ಪರಿಣಾಮದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾದ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಪರಿಶೀಲಿಸಿದಾಗ ಅಂತರವನ್ನು ಅತ್ಯಂತ ಕಡಮೆ ಮಾಡಿಸಿದನು. ಇದರಿಂದ ಪರಮಾಣು ಬೀಜವು ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ಕಾಲಾವಧಿಯನ್ನು ಸುಮಾರು 10^{-10} ಸೆಕೆಂಡ್ ಎಂದು ಗೊತ್ತುಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಯಿತು.



ಚಿತ್ರ 9.8 ಮಾಸ್ ಬಾಯರ್ ಕ್ರಿಯೆ

ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ (9.8) ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಮೊಸ್ ಬಾಯಿರ್ ಮಾಡಿದ ಪ್ರಥಮ ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ γ- ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು 0.129 Mev – ಪರಿಶೀಲನಕ್ಕೆ ಒಳಗಾದ ವಸ್ತುವು $_{77}Ir^{191}$). ಈ ಶಕ್ತಿಯ ವಿನಿಮಯವು ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳ ಬೀಜಗ (N_1,N_2) ಳ ನಡುವೆ ಹೇಗೆ ಆಗುತ್ತದೆಂದು ತೋರಿಸುತ್ತದೆ.

ಇದೇ ಮಾದರಿಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳನ್ನು ಹಲವಾರು ಬೇರೆ ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಂದ ಸ್ಥಿರ ಪಡಿಸಲಾಯಿತು. ಇದರ ಮಹತ್ವವನ್ನು ಅರಿತು ಮೊಸ್ ಬಾಯಿರ್‌ಗೆ 1961 ರಲ್ಲಿ ನೋಬೆಲ್ ಬಹುಮಾನ ದೊರಕಿತು.

10. ಘನಸ್ಥಿತಿ ವಿಜ್ಞಾನ

10.1 ಘನಸ್ಥಿತಿ ವಿಜ್ಞಾನ

ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ವೈಯುಕ್ತಿಕ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ರಚನೆಯನ್ನೂ ವಿಮರ್ಶಿಸಲಾಗಿದೆ. ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿ ಅಣುಗಳಾಗುತ್ತವೆ. ಈ ಅಣುಗಳ ಗುಣಗಳೇ ವಿಶಿಷ್ಟವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ನಾವು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಘನವಸ್ತುಗಳ ಮತ್ತು ದ್ರವರೂಪದ ವಸ್ತುಗಳ ಗುಣಗಳನ್ನು–ಅಂದರೆ, ಅವುಗಳ ಸಾಂದ್ರತೆ, ಸ್ಥಿತಿಸ್ಥಾಪಕ ಸಂಖ್ಯೆಗಳು, ಉಷ್ಣ ಮತ್ತು ವಿದ್ಯುತ್ ವಹನಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಗುಣಗಳು–ವಿಮರ್ಶಿಸುವಾಗ, ಅವುಗಳಿಗೂ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಗಮನಿಸುವುದಿಲ್ಲ. ಆದರೆ, ಅಣು ಮತ್ತು ಘನಸ್ಥಿತಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ವಿಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ಅನಿಲ, ದ್ರವ ಮತ್ತು ಘನರೂಪಗಳಲ್ಲಿ ಇರುವ ವಸ್ತುಗಳ ಗುಣಗಳನ್ನು ಪರಮಾಣುಗಳ ರಚನೆ ಮತ್ತು ಅವುಗಳ ಸಮೂಹಗಳ ವರ್ತನೆ ಮುಂತಾದ ಲಕ್ಷಣಗಳೊಂದಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುತ್ತೇವೆ. ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಈ ವಿಜ್ಞಾನದ ಶಾಖೆಯಲ್ಲಿ ಅಪಾರವಾದ ಬೆಳವಣಿಗೆಯು ಉಂಟಾಗಿದೆ. ಹೊಸ ಹೊಸ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಂದ ಪದಾರ್ಥಗಳ ವರ್ತನೆಯ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಜ್ಞಾನಭಂಡಾರವು ವಿಸ್ತರಿಸುತ್ತಿದೆ. ಇವುಗಳ ಪರಿಣಾಮವಾಗಿ ನವೀನ ರೀತಿಯ ಪದಾರ್ಥಗಳನ್ನು ನಿರ್ಮಾಣಮಾಡಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗಿದೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದುದನ್ನು ಹೀಗೆ ಸೂಚಿಸಬಹುದು.

(i) ಜೆಟ್ ಯಂತ್ರಗಳ ತಯಾರಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗವಾಗುವ ಉಷ್ಣ ನಿರೋಧಕ ಮಿಶ್ರಲೋಹಗಳು.

(ii) ಸ್ಫುರಣ ದೀಪಗಳಿಗೂ, ಟೆಲಿವಿಷನ್ ತೆರೆಗಳಿಗೂ ಉಪಯೋಗಿಸಲು ಯೋಗ್ಯವಾದ ಹೊಸ ರಂಜಕ ದ್ರವ್ಯಗಳು (Phosphors)

(iii) ಅಯಸ್ಕಾಂತಗಳಿಗೆ ಉಪಯೋಗವಾಗುವ ಹೊಸ ವಸ್ತುಗಳು

(iv) ಹಳೇ ಮಾದರಿಯ ನಿರ್ವಾತನಾಳಿಕೆ (Vacuum tubes) ಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಹೊಸ ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ (Transistors) ಮಾದರಿಗಳು.

(v) ಕೆಲವು ವಿಶಿಷ್ಟ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಅತಿಸೂಕ್ಷ್ಮ ರೀತಿಯ ಅಣ್ವಾತ್ಮಕ ಮಂಡಲಗಳ (Molecular circuits) ನಿರ್ಮಾಣ.

ಹೀಗಾಗಿ, ಈ ಘನ ಸ್ಥಿತಿ ವಿಜ್ಞಾನದ ಶಾಖೆಯು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ಮುಖ್ಯ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸಿದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟ ಕೆಲವು ಸ್ಥೂಲ ಅಂಶಗಳನ್ನು ಮಾತ್ರ ಈ ಅಧ್ಯಾಯದಲ್ಲಿ ಪರಿಶೀಲಿಸಬಹುದು.

10.2 ಅಣುಗಳ ಬಂಧನ ಮತ್ತು ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ

ಒಂದು ಅಣುವಿನಲ್ಲಿ (molecule) ಎರಡು ಅಥವಾ ಹೆಚ್ಚು ಪರಮಾಣುಗಳು (atoms) ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರಬಹುದು. ಈ ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಂದೇ ವಸ್ತುವಿನದಾಗಿರಬಹುದು. ಅಥವಾ ಅವುಗಳು ಬೇರೆ ವಸ್ತುಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟಿರಬಹುದು. Kcl ಅಣುವಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು K ಪರಮಾಣುವೂ, ಒಂದು cl ಪರಮಾಣುವು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ (H) ಜಲಜನಕದ ಅಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳೂ ಒಂದೇ ವಸ್ತುವಾದ ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಪಟ್ಟವು. ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ ಆಮ್ಲಜನಕ (o), ಸಾರಜನಕ (N) ಮುಂತಾದ ಅನಿಲಗಳ ಅಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇದೇ ರೀತಿಯ ಒಟ್ಟುಗೂಡುವಿಕೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಈ ಎರಡು ಉದಾಹರಣೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಬಂಧನದ ಕ್ರಮಗಳು ಭಿನ್ನವಾದುವು.

(i) ಆಯಾನೀಯ ಬಂಧನ (Ionic binding)

kcl ಅಣುವಿನ ಎರಡು ಅಂಗಗಳಾದ k ಮತ್ತು cl ಪರಮಾಣುಗಳು ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಋಣವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಅಯಾನ್ (ions) ಗಳ ರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳನ್ನು k^+ ಮತ್ತು cl^- ಎಂದು ಗುರುತಿಸಬಹುದು. ಅಂದರೆ, k ಪರಮಾಣುವಿನ ಹೊರವಲಯದಲ್ಲಿ ಒಂದು (ಮುಕ್ತ) ಸಂಯೋಗ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ (Valence electron) ಕಣವು cl ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ವರ್ಗಾಯಿಸಲ್ಪಟ್ಟು ಅದರ ವಲಯದಲ್ಲಿರುವ ಖಾಲಿ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಭರ್ತಿ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಳೆದುಕೊಂಡ k ಪರಮಾಣುವು ಧನವಿದ್ಯುದಂಶದ k^+ ಅಯಾನ್ ಆಗುತ್ತದೆ. ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಹೆಚ್ಚಳದಿಂದ cl ಪರಮಾಣುವು cl^- ಅಯಾನ್ ಆಗುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ವಿರುದ್ಧ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಅಯಾನ್‌ಗಳ ಬಂಧನದಿಂದ ಅಣುವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಬಂಧಿಸುವುದು ಕೂಲಾಂಬ್ (Coulomb) ಮಾದರಿಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲ.

(ii) ಸಹಸಾಂಯೋಗಿಕ ಬಂಧನ (Covalent binding)

ಇದು ಒಂದೇ ವಸ್ತುವಿನ ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡುವಿಕೆಯಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಬಂಧನ. ಇದಕ್ಕೆ H, O, N ಮುಂತಾದ ಅನಿಲಗಳ ಅಣುಗಳ ರಚನೆಯೇ ಮಾದರಿಯಾಗಿದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ ಎರಡು ಪರಮಾಣು

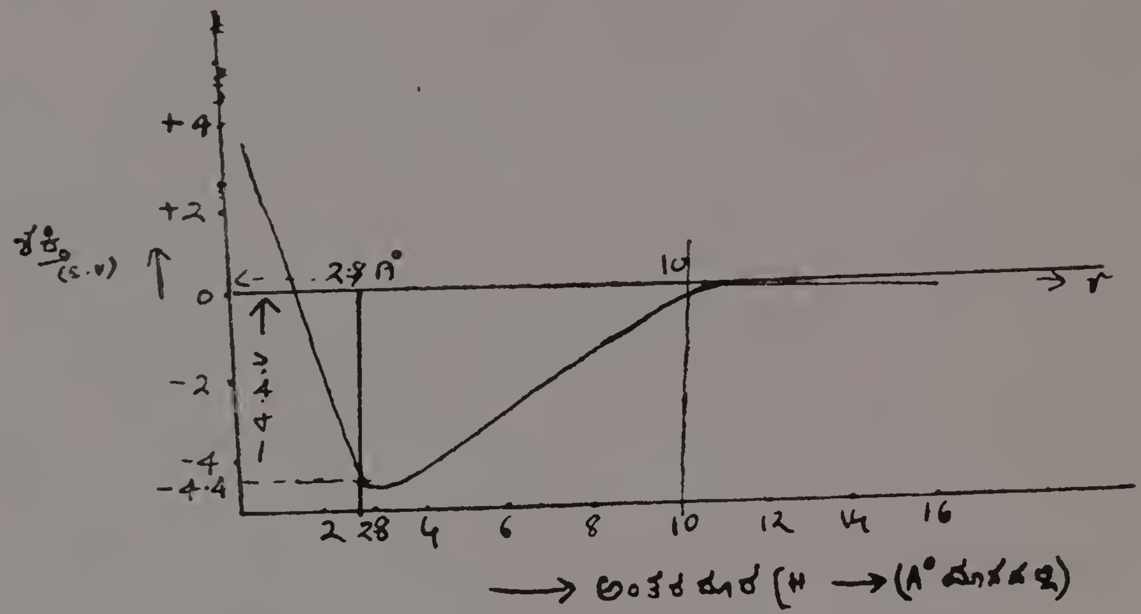
ಗಳು ಪೂರ್ಣವಾಗಿದ್ದು ವಿದ್ಯುತ್ ಶೂನ್ಯವಾಗಿರುವುದರಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್ ಆಕರ್ಷಣ ಬಲದ ಪ್ರಶ್ನೆಯಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಈ ರೀತಿಯ ಬಂಧನದ ನಿಜಸ್ವರೂಪವನ್ನು ತಿಳಿಯ ಬೇಕಾದರೆ, ತರಂಗ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ (Wave-mechiancs) ತತ್ತ್ವಗಳನ್ನು ತಿಳಿಯ ಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಹೊರನೋಟದಿಂದ ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯ ಅಂಶಗಳು ಹೊರ ಬೀಳುತ್ತವೆ. ಜಲಜನಕದ ಅಣುವನ್ನೇ ತೆಗೆದುಕೊಂಡರೆ, ಅದರಲ್ಲಿರುವ ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ತಲಾ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಇರುವುದರಿಂದ ಇವುಗಳ ಪರಸ್ಪರ ವಿನಿಮಯ (sharing)ಕ್ಕೆ ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಇದರಿಂದ ಒಂದು ಆಕರ್ಷಕಬಲವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ರೀತಿಯ ವಿನಿಮಯ ಬಲಗಳ (Exchange forces) ವರ್ತನೆಯನ್ನು ಅರ್ಥಮಾಡಿಕೊಳ್ಳಲು ನವೀನ ತರಂಗ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ ಅವಶ್ಯಕತೆ ಇದೆ. ಅಣುವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬೇಕಾದರೆ, ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಇರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಭ್ರಮಣದಿಕ್ಕುಗಳು ವಿರುದ್ಧವಾಗಿರಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಪ್ರದಕ್ಷಿಣ (clock-wise) ಆಗಿದ್ದರೆ, ಮತ್ತೊಂದು ಅಪ್ರದಕ್ಷಿಣ (anti-clock-wise) ವಾಗಿರಬೇಕು. ಇದೇ ಮಾದರಿಯ ಭ್ರಮಣ ಚಲನೆಗಳೂ ಆಮ್ಲಜನಕ ಮತ್ತು ಸಾರಜನಕದ ಅಣುಗಳಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗಬೇಕು. ಇದನ್ನು ಸಹ ಸಾಂಯೋಗಿಕ (co-valent) ಬಂಧನವೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ಈ ಎರಡು ಉದಾಹರಣೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ ಬಂಧನದ ಮಾದರಿಯೇ ಭಿನ್ನವಾಗಿದೆ. ಆದರೆ, ಇವುಗಳ ನಡುವೆ ಮಧ್ಯಸ್ಥ ರೀತಿಯ ಬಂಧನಗಳನ್ನೂ ಕೆಲವು ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು. ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಪಾಲುಗೊಳ್ಳುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ವಿನಿಮಯಕ್ರಮದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮತ್ತೊಂದಕ್ಕಿಂತ ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನೊಂದಿಗೆ ಹೆಚ್ಚು ಕಾಲವಿರ ಬಹುದಾದ ಸಂಭವನೀಯತೆಯಿದೆ.

ಪರಮಾಣುಗಳ ಬಂಧನವನ್ನು ಅಳೆಯಲು ಬಂಧನ ಮುಕ್ತಿಯ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು (dissociation energy) ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬಹುದು. ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಅಣು ವನ್ನು ಭೇದಿಸಿ, ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳಾಗಿ ಪ್ರತ್ಯೇಕಿಸಲು ಬೇಕಾಗುವ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯಬೇಕು. ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡುವ ಸಮಯದಲ್ಲಿ ವಿಸರ್ಜಿತವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಗೆ ಇದು ಸಮನಾಗಿರಬೇಕು. Kcl ಅಣುವಿಗೆ ಈ ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿಯ ಪ್ರಮಾಣವು 4.4ev. ಜಲಜನಕಕ್ಕೆ ಅದು 4.48ev. ಆಗಿರುತ್ತದೆ.

ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳು ಸಮೀಪಿಸುತ್ತ ಬರುವಾಗ, ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರ ದೂರವು ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ಪ್ರಮಾಣವನ್ನು ಹೊಂದಿರಬೇಕು. ಆಗ ಅದರ ಶಕ್ತಿಯೂ ಕನಿಷ್ಠವಾಗಿರುವುದು. ಅದಕ್ಕಿಂತ ಅಂತರವು ಹೆಚ್ಚಾದಾಗ, ಅವುಗಳು ಮತ್ತೆ ಸಮೀಪಿಸುವಂತೆ ಒಂದು ಸ್ಥಿತಿಸ್ಥಾಪಕ ಬಲವು ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಆದರೆ,

ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ಅಂತರವು ಕನಿಷ್ಠ ದೂರಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾದರೆ, ಸಮಸ್ಥಿತಿಯು ಹೋಗಿ, ಅಪಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ದೂರೀಕರಿಸುತ್ತವೆ. ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರ (10.1) ದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 10.1 ಬಂಧಕ ಶಕ್ತಿ—(10^{-8} ಸೆಂ.ಮೀ.)

ಈ ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ OX ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ಅಂತರ (r) ವನ್ನು ಆಂಗ್‌ಸ್ಟ್ರಾಂ ಮಾನ (10^{-8} ಸೆಂ. ಮೀ.)ದಲ್ಲಿ ಸೂಚಿಸಿದೆ. OY ಅಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಬಂಧಕಶಕ್ತಿಯನ್ನು ev (ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ವೋಲ್ಟ್) ಮಾನದಲ್ಲಿ ಗುರುತಿಸಿದೆ. OM = r_0 = 2.8X10^{-8} ಸೆಂ.ಮೀ. ಆದಾಗ, ಶಕ್ತಿಯು ಕನಿಷ್ಠಮಿತಿಯಾದ (–4.40ev) ಯನ್ನು ಮುಟ್ಟುತ್ತದೆ. r_0 ಗಿಂತ ಕಡಮೆ ದೂರದಲ್ಲಿ ಅಪಕರ್ಷಣವೂ, ಹೆಚ್ಚು ದೂರಗಳಲ್ಲಿ ಆಕರ್ಷಣವೂ ಏರ್ಪಡುತ್ತವೆ.

ಪರಮಾಣು ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳು ವಿವಿಧ ಕವಚ (shells) ಗಳಲ್ಲಿ ಹಂಚಿಕೆಯಾಗಿರುವ ಕ್ರಮವು ಪೌಲಿಬಹಿಷ್ಕರಣ ಸೂತ್ರಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿರುವುದನ್ನು ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿದಿದ್ದೇವೆ. (Pauli's exclusion principle)—ಇದರ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನಾವು ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳನ್ನು ಸಮೀಪಗೊಳ್ಳುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ದೂರದವರೆಗೆ ಮಾತ್ರ ಸಾಧ್ಯವಿರಬೇಕು. ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಗಾತ್ರದ ಕಲ್ಪನೆಯನ್ನು ಮಾಡಿದರೆ, ಒಂದು ಕನಿಷ್ಠ ದೂರ (r_0) ಕ್ಕಿಂತ ಕಡಮೆಯಾದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಕವಚಗಳಿಂದ ಇನ್ನೊಂದರ ಕವಚಗಳೊಳಗೆ ತೂರುವಂತಾಗಬಹುದು. ಆಗ ಅವುಗಳ ಶಕ್ತಿ ಮಟ್ಟಗಳು (energy states) ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಅದಕ್ಕೆ ಶಕ್ತಿಯು ಅವಶ್ಯಕತೆಯಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಕಾರಣದಿಂದ ಅಪಕರ್ಷಕ ಬಲವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆಂದು ಭಾವಿಸಬಹುದು.

10.3 ಹರಳುಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ಬಂಧನ

ಒಂದು ಘನ ವಸ್ತುವಿನ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವೆ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಆಕರ್ಷಕ ಬಲಗಳು ಆ ಪರಮಾಣುಗಳು ಯಾವ ರೀತಿಯ ಜ್ಯಾಮಿತೀಯ ಚೌಕಟ್ಟಿಗೆ ಒಳಪಟ್ಟಿವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಅವಲಂಬಿಸಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದೊಂದು ಹರಳಿಗೂ ಬೇರೆ ಬೇರೆ ಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಕೆಲವು ಮುಖ್ಯವಾದ ಜೋಡಣೆಗಳಲ್ಲಿ ನಾಲ್ಕನ್ನು ಗುರುತಿಸ ಬಹುದು.

(i) ಅಯಾನೀಯ ಬಂಧನ

ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ NaCl ಅಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ Na^+ ಮತ್ತು Cl^- ಅಯಾನುಗಳು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಆಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಅಡಕವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು ಪರ್ಯಾಯವಾಗಿ ಉಪಸ್ಥಿತವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಅವುಗಳ ನಡುವಣ ಬಲಗಳು ಕೂಲಾಂಬ್ ಮಾದರಿಯ ಆಕರ್ಷಕರೂಪದಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ. ಈ ರಚನೆಯ ವಸ್ತುಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ ಬೆಳಕಿಗೆ ಪಾರದರ್ಶಕಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಅತಿ ಕಡಮೆ ಉಷ್ಣಾಂಶ ಗಳಲ್ಲಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಉಷ್ಣಗಳಿಗೆ ಅವಾಹಕ (insulators) ಗಳಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಏರಿದರೆ, ಅಯಾನ್‌ಗಳ ಚಲನೆಯಿಂದ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕತ್ವವು ವೃದ್ಧಿ ಹೊಂದುತ್ತದೆ.

(ii) ಸಹಸಾಂಯೋಗಿಕ ಬಂಧನ

ಇಂಥ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವೆ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ವಿನಿಮಯದಿಂದ ಬಂಧನವು ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಜರ್ಮೇನಿಯಂ (Ge) ಸಿಲಿಕಾನ್ (Si) ಮತ್ತು ವಜ್ರ (Diamond) ಗಳ ರಚನೆಯನ್ನು ಈ ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ಸೇರಿಸಬಹುದು. ಕಡಮೆ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳಲ್ಲಿ ಈ ಹರಳುಗಳು ಬಿರುಸಾಗಿಯೂ, ಅತಿಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದ ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ. ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಏರಿದರೆ, ಈ ವಿದ್ಯುತ್ ರೋಧವು (resistance) ಕಡಮೆಯಾಗುತ್ತದೆ—ಅರ್ಧವಾಹಕ ಹರಳು (Semi-Conductors)ಗಳು ಈ ಗುಂಪಿನಲ್ಲಿರುತ್ತವೆ.

(iii) ಲೋಹಕ ಬಂಧನ (Metallic Bond)—ಈ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಮುಕ್ತ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು (Valence electrons) ಯಾವುದೇ ಒಂದು ಪರಮಾಣುವಿಗೆ ಅಂಟಿಕೊಳ್ಳದೆ, ಹರಳಿನಲ್ಲಿ ಅನಿರ್ಬಂಧಿತವಾಗಿ ಚಲನ ಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಇದರಿಂದಲೇ, ಲೋಹವಸ್ತುಗಳು ಸಾಧಾರಣವಾಗಿ ವಿದ್ಯುತ್ ಮತ್ತು ಉಷ್ಣವಾಹ ಕತ್ವವನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ.

(iv) ಜಲಜನಕ ಬಂಧನ

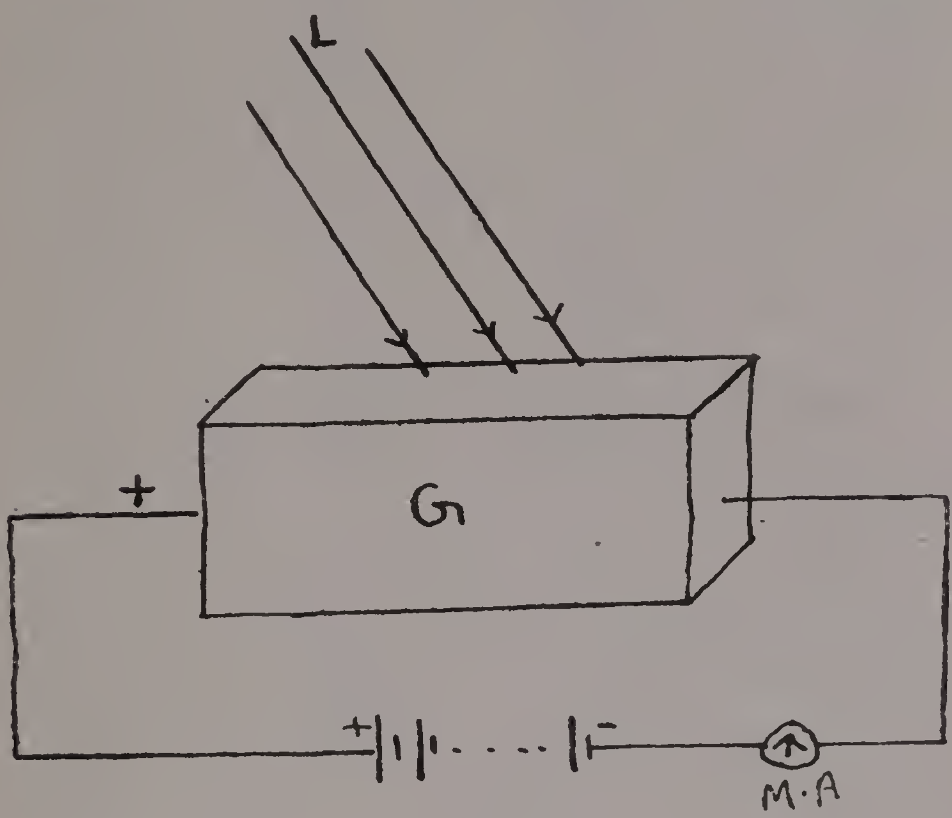
ಜಲಜನಕದ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಇರುವ ಒಂದೇ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಮತ್ತೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿನೊಡನೆ ಬಂಧನಕ್ಕೆ ಅವಕಾಶ ಹೊಂದಿರುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, ಎರಡು ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ ಬಲವಾದ ಬಂಧನವನ್ನು ಹೊಂದುವ ಸನ್ನಿವೇಶಗಳಿರುತ್ತವೆ - ಪ್ರಬಲವಾಗಿ ಋಣ ವಿದ್ಯುತ್. ಪರಮಾಣುಗಳೊಡನೆ (electro-negative atoms) ಸೇರಿಕೊಂಡು ಅವುಗಳಲ್ಲಿ ಕೊರತೆಯಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಭರ್ತಿಮಾಡುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಅಯನೀಯ ಬಂಧನವೆಂದೇ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಇಂಥ ಬಂಧನಗಳನ್ನು HF ಮತ್ತು ಪ್ರೋಟೀನ್ ಮತ್ತು ಸಾವಯುವ (organic) ಸಂಯುಕ್ತಗಳಲ್ಲಿ ಕಾಣಬಹುದು. ಜೀವ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ (Bio-Physics) ಮತ್ತು ಜೀವರಾಸಾಯನಿಕ ಶಾಸ್ತ್ರಗಳಲ್ಲಿ ಇದರ ಪ್ರಾಮುಖ್ಯತೆ ಹೆಚ್ಚು.

10.4 ಅರ್ಧವಾಹಕಗಳು (Semo–Conductors)

ಘನ ವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ, ಒಳ್ಳೆಯ ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕಗಳೂ ಅಲ್ಲದೆ, ಸಂಪೂರ್ಣ ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕಗಳೂ ಆಗಿರದೆ, ಮಧ್ಯಸ್ಥವಾಗಿರುವ ಹಲವು ಮಾದರಿಗಳಿವೆ. ಈ ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಅರ್ಧವಾಹಕಗಳು (ಅಥವಾ ಪಾರ್ಶ್ವವಾಹಕಗಳು) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಚಲನಗೊಳಿಸಬೇಕಾದರೆ, ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರಗಳ (ಒಂದು ಮೀಟರಿಗೆ ಸಾವಿರಾರು ವೋಲ್ಟುಗಳಷ್ಟು) ಅವಶ್ಯಕತೆಯಿದೆ.

ಆವರ್ತ ಕೋಷ್ಟಕದಲ್ಲಿ ನಾಲ್ಕನೆಯ ಸಾಲಿನಲ್ಲಿರುವ ಹರಳು ರಚನೆಯ ಸಿಲಿಕಾನ್ (Si) ಮತ್ತು ಜರ್ಮೇನಿಯಂ (Ge) ಮುಖ್ಯವಾದವು. $\frac{1}{2}$ ಸೆಂ. ಮೀ. ಚದರದ, 2 ಸೆಂ.ಮೀ. ಉದ್ದದ ಒಂದು ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಹರಳನ್ನು (G) ತೆಗೆದುಕೊಂಡು ಅದರ ಎರಡು ತುದಿಗಳನ್ನೂ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶ (B)ಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿ, (M-A) ಎಂಬ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಾಪಕವನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಮಂಡಲವನ್ನು ರಚಿಸಬಹುದುಚಿತ್ರ–10.2 ಇದರ ಮೇಲೆ. ಒಂದು ಬೆಳಕಿನ ಮೂಲದಿಂದ (L) ಬರುವ ಬೆಳಕನ್ನು ಬೀಳಿಸಿದರೆ, ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕತ್ವವು ವೃದ್ಧಿಯಾಗಿ, ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹವು ಏರುತ್ತದೆ – ಇದನ್ನು ದ್ಯುತಿ ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕತ್ವ (Photo-Conductivity) ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಹರಳನ್ನು ಕಾಯಿಸಿ, ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಏರಿದರೂ, ವಿದ್ಯುತ್ ವಾಹಕತ್ವವು ಹೆಚ್ಚುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳಿಗೆ ಕಾರಣವನ್ನು ತಿಳಿಯಬೇಕಾದರೆ, ಹರಳಿನ ರಚನೆಯನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ–ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಹರಳಿನ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಹೊರಗಣ ಕವಚದಲ್ಲಿ ನಾಲ್ಕು ಸಂಯೋಗ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು

ಇರುತ್ತವೆ–ಮೂರು ಪರಿಮಾಣದಲ್ಲಿ (Three dimensions) ಪರಮಾಣುಗಳು ಜೋಡಣೆಯಾಗಿರುವ ಆಕೃತಿಯು ಚತುರ್ಮುಖಿ (Tetra–hedron) ಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವೂ ತನ್ನ ಸಮೀಪವರ್ತಿಯಾಗಿರುವ ಪರಮಾಣುವಿನೊಂದಿಗೆ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ವಿನಿಮಯ ಮಾಡಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಇದು ಒಂದು

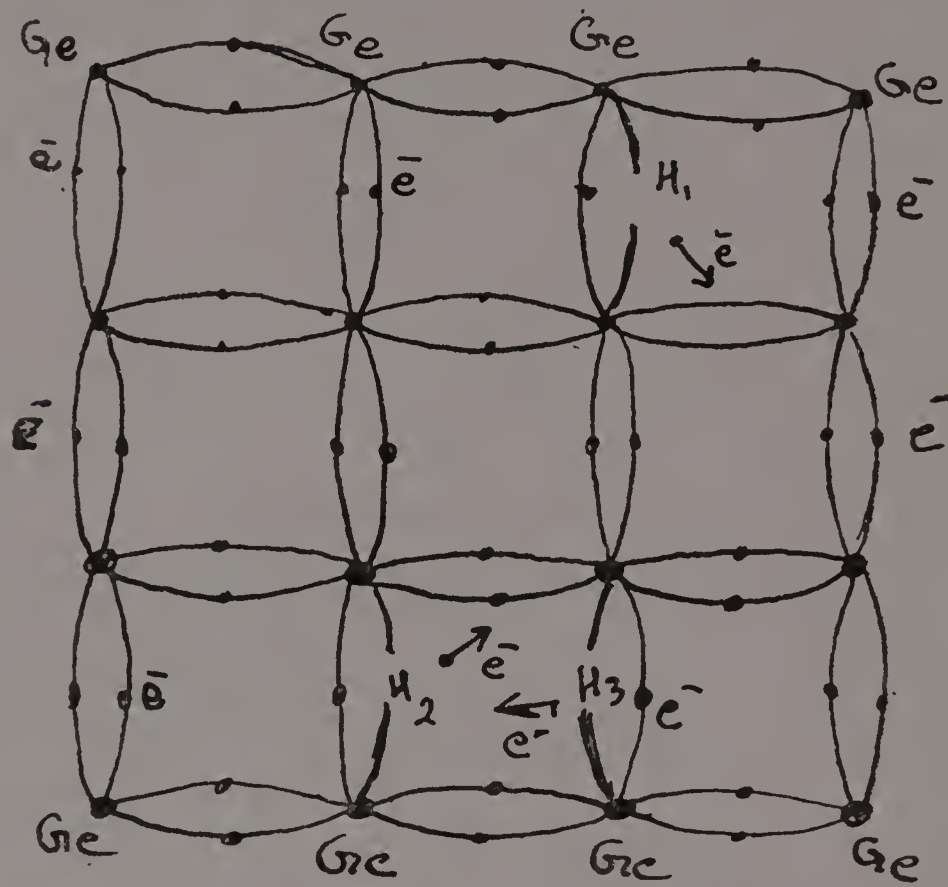


ಚಿತ್ರ 10.2

ಸಹಸಾಂಯೋಗಿಕ ಬಂಧನ (Co-valent Bond) – ಇದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರವು (10.3) ತೋರಿಸುತ್ತದೆ. ಮೂರು ಪರಿಮಾಣಗಳ ಆಕೃತಿಯು ಒಂದು ಮುಖವನ್ನು ನಿರೂಪಿಸುತ್ತದೆ–**G** ಎಂಬುದು ಹರಳು. e ಎಂಬುದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್.

0° A ನಲ್ಲಿ ಎಲ್ಲಾ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೂ ಬಂಧನದಿಂದ ಭದ್ರವಾಗಿ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುತ್ತವೆ - ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನು ನಮ್ಮ ಆವರಣದ ಮಟ್ಟಕ್ಕೆ ಏರಿಸಿದರೆ, ಉಷ್ಣದಿಂದ ಉಂಟಾಗುವ ಚಲನಗಳಿಂದ, ಕೆಲವು ಬಂಧನಗಳು ಕಳಚಿಹೋಗಬಹುದು. ಆಗ, H_1 H_2 ಎಂಬ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಪಲ್ಲಟಗೊಂಡು ಕಳಚಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳು e_1 e_2 ಆದರೆ, ಅವು ಬಿಟ್ಟ ಪ್ರದೇಶಗಳು H_1 H_2 ರಂಧ್ರಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ–ಆ ಜಾಗದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕೊರತೆಯಾಗುವುದರಿಂದ, ಖಾಲಿ ರಂಧ್ರವನ್ನು (H_1, H_2) ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಧನ ವಿದ್ಯುತ್ ಅಂಶದಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು–ಅಂದರೆ, ತೆರವಾದ H_2 ಜಾಗವನ್ನು ಭರ್ತಿ ಮಾಡಲು, ಸಮೀಪದಲ್ಲಿರುವ E_3 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗೆ ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಆಗ A_2 ಭರ್ತಿಯಾಗಿ, H_3 ಒಂದು

ರಂಧ್ರದಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ರಂಧ್ರದ ಚಲನೆಯೂ ಆದಂತೆಯೂ ಭಾವಿಸಬಹುದು. ಇದನ್ನು ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶದ ಚಲನೆಗೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದು.



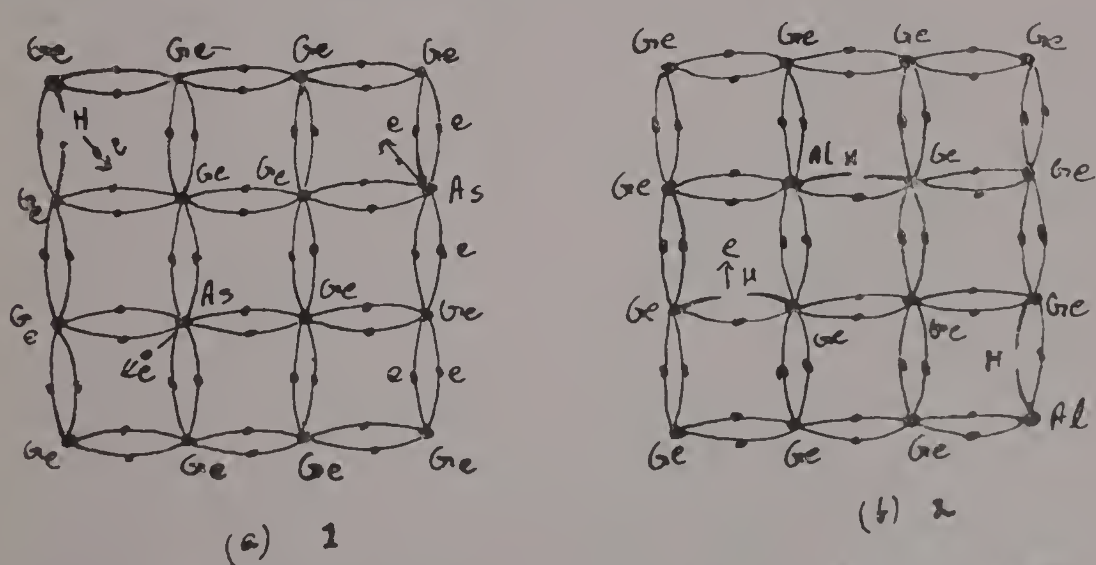
ಚಿತ್ರ 10.3 ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಹರಳಿನ ರಚನೆ

10.5 n–ಮತ್ತು p–-ಮಾದರಿ ಹರಳುಗಳು

ಮೇಲೆ ತಿಳಿಸಿರುವ ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಹರಳಿನೊಳಗೆ ಅತಿಸ್ವಲ್ಪ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಮತ್ತೊಂದು ಹರಳನ್ನು ಒಂದು ಅಶುದ್ಧತೆಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ (impurity) ಮಿಶ್ರ ಮಾಡಿದರೆ, ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕತ್ವದಲ್ಲಿ ಗಮನೀಯವಾದ ಬದಲಾವಣೆಯುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಹರಳಿನೊಂದಿಗೆ ಹೀಗೆ ಮಿಶ್ರಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿ ಆರ್ಸನಿಕ್ (As) ಅಥವಾ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ (Al) ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗುತ್ತದೆ. ಇದಕ್ಕೆ ಕಾರಣವಿಷ್ಟೇ. As ಪರಮಾಣುವಿನ ರಚನೆಯಲ್ಲಿ ಹೊರಗಡೆಯ ಅಪೂರ್ಣವಾಗಿರುವ ಕವಚದಲ್ಲಿ 5 ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇವೆ–ಅಂದರೆ, ಇದರ ಪರಮಾಣುಗಳ ಕಟ್ಟಡದ ಜಾಲಕದಲ್ಲಿ (lattice) ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಜಾಲಕದಲ್ಲಿ ಬೇಕಾಗುವುದಕ್ಕಿಂತ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಹರಳಿನೊಂದಿಗೆ 10 ಲಕ್ಷದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಭಾಗ ಪ್ರಮಾಣದಲ್ಲಿ ಮಾತ್ರ As ಹರಳನ್ನು ಮಿಶ್ರಮಾಡಿದರೆ, ಪರಮಾಣುಗಳ ಚೌಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಒಂದು ಮುಖವನ್ನು ನೋಡಿದರೆ ಸುಮಾರು 100 ಪರಮಾಣುಗಳ ಅಂತರದಲ್ಲಿ ಇಲ್ಲೊಂದು, ಅಲ್ಲೊಂದು As ಪರಮಾಣುವು Ge ಪರಮಾಣುಗಳ ನಡುವೆ ಸೇರಿಕೊಂಡಿರುತ್ತದೆ. ಒಂದೊಂದು

As ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದಲೂ, ಈ ಮಿಶ್ರ ಜಾಲಕದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೆಚ್ಚಳ (excess) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಬಂಧನಕ್ಕೆ ಒಳಗಾಗದೆ ಇರುತ್ತದೆ. ಹೀಗಿದ್ದರೂ, 1 c. c. ಗಾತ್ರದಲ್ಲಿ ಸುಮಾರು 10^{17} As ಪರಮಾಣುಗಳು ಇರುವುದರಿಂದ, 10^{17} ಬಿಡಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಹೆಚ್ಚಳವಾಗಿರುತ್ತವೆ. ಹಿಂದೆಯೇ ತಿಳಿಸಿದಂತೆ, ಉಷ್ಣಾಂಶದಿಂದ ಕೆಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕಳಚಿಕೊಂಡು, ಆ ಪ್ರದೇಶಗಳಲ್ಲಿ ರಂಧ್ರಗಳು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗಬಹುದು. ಆದರೆ, As ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದ ದತ್ತವಾದ (donated) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಇವುಗಳಿಗಿಂತ ಸುಮಾರು 10,000 ಪಾಲು ಇರುತ್ತವೆ. ಆದ್ದರಿಂದ ಈ ಮಿಶ್ರಚೌಕಟ್ಟಿನಲ್ಲಿರುವ ಚಿತ್ರವನ್ನು (10.4) ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ n-ಮಾದರಿಯ ಹರಳು ಎಂದು ಹೆಸರು. ಇದರಲ್ಲಿ ಸ್ವತಂತ್ರ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕಗಳು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಬಹು ಸಂಖ್ಯೆಯಿಂದ As ಪರಮಾಣುವಿನಿಂದ ಬಂದಿರುವುದರಿಂದ, As ಪರಮಾಣುವನ್ನು ದಾನಿ (donor) ಎಂದು ಕರೆಯುತ್ತೇವೆ.

ಜರ್ಮೇನಿಯಂ ಹರಳಿನೊಂದಿಗೆ Al ವಸ್ತುವನ್ನು ಅಶುದ್ಧತೆಯಂತೆ ಮಿಶ್ರ ಮಾಡಿದರೆ, ಮಿಶ್ರಜಾಲಕದಲ್ಲಿ ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯಂ ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿ ಹೊರಗಡೆ ಕವಚದಲ್ಲಿ ಮೂರೇ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿರುವುದರಿಂದ, ಆ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಒಂದು ಕೊರತೆಯುಂಟಾಗುತ್ತದೆ. (deficit) ಅಂದರೆ, ಆ ಜಾಗಗಳಲ್ಲಿ ಒಂದು ರಂಧ್ರವು (hole) ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ-ಅಲ್ಯೂಮಿನಿಯುಂನಲ್ಲಿ ಮೂರೇ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿರುವುದರಿಂದ ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನನ್ನು ಸ್ವೀಕರಿಸುವ (accept) ಅವಕಾಶವಿದ್ದು ಈ ಮಿಶ್ರ ವ್ಯವಸ್ಥೆಯಲ್ಲಿ ರಂಧ್ರಗಳೇ ಪ್ರಧಾನವಾಗುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳೇ ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಹಾಗೆಯೇ ಅವುಗಳು ಧನ (p) ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತವೆ. ಆದುದರಿಂದ ಈ ಮಿಶ್ರಣವನ್ನು p ಮಾದರಿ ಹರಳು ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ. ಇದರ ಚಿತ್ರವನ್ನೂ (10.4) ಕೆಳಗೆ ತೋರಿಸಿದೆ.



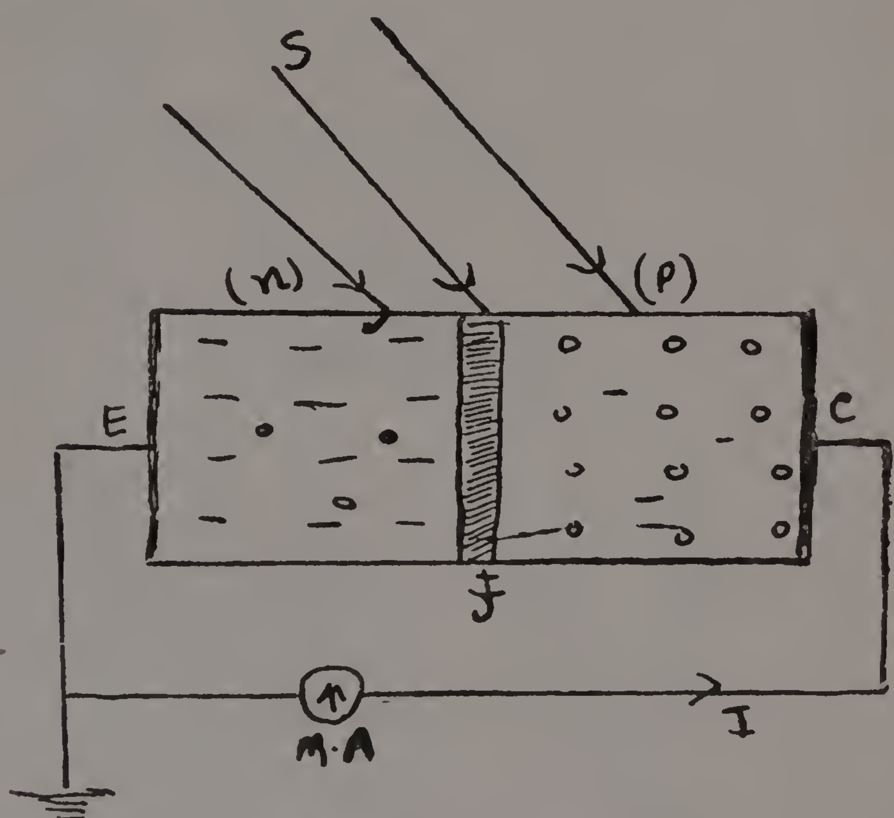
(a) n-ಮಾದರಿ ಹರಳು ಜಾಲಕ (b) p-ಮಾದರಿ ಹರಳು ಜಾಲಕ

ಚಿತ್ರ 10.4 n-p-ಹರಳುಗಳು

(a) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ As ಪರಮಾಣುವು ಇರುವ ಕಡೆಯಲ್ಲಿ ಒಂದು ಹೆಚ್ಚಳ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್(e) ಬಂಧವಿಮುಕ್ತವಾಗಿರುತ್ತದೆ. (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ Al ಪರಮಾಣುವಿರುವ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಒಂದು ರಂಧ್ರವು (H) ಏರ್ಪಟ್ಟು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕೊರತೆಯಿರುತ್ತದೆ.

10.6 p—n ಸಂಧಿ (ದ್ವಿಧ್ರುವ) (Diode)

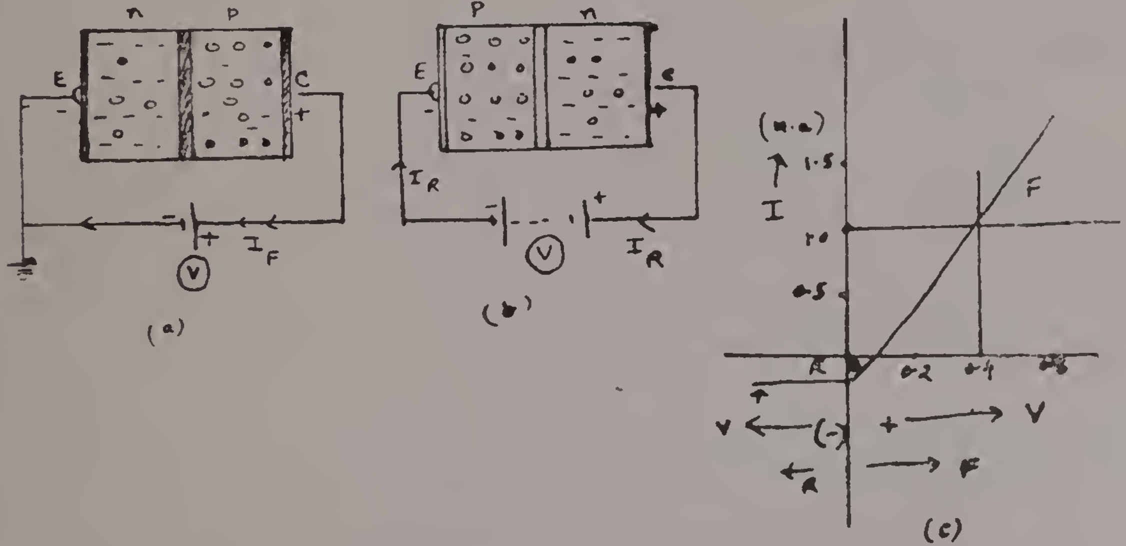
ಈಗ p, n ಮಾದರಿಗಳ ಅರ್ಧ ವಾಹಕಗಳನ್ನು ಸಂಧಿಸಿದರೆ ಅದು ಒಂದು ದ್ವಿಧ್ರುವದಂತೆ (diode) ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಇವು ಸಂಧಿಸುವ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ ಸ್ವತಂತ್ರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು n ಕಡೆಯಿಂದ ಸಂಧಿಯ ಮೇರೆಯ ಮೂಲಕ p ಕಡೆಗೆ ತೂರುವ ಅವಕಾಶವಿರುತ್ತದೆ. ಹೀಗೆ ಮಾಡುವಾಗ, n ಕಡೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಕಡಮೆಯಾಗಿಯೂ, p ಕಡೆ ಹೆಚ್ಚಾಗಿಯೂ ಇರುವುದರಿಂದ ಈ ಎರಡು ಕಡೆಗಳ ನಡುವೆ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ವಿಭವು (potential difference) ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. n ಕಡೆಯಿಂದ ಬರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು p ಯಲ್ಲಿರುವ ರಂಧ್ರಗಳನ್ನು ತುಂಬುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ n ಕಡೆಯಲ್ಲಿ ಖಾಲಿಜಾಗಗಳು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ, ರಂಧ್ರಗಳು (ಧನ ವಿದ್ಯುದಂಶಗಳು) p ಯಿಂದ n ಕಡೆಗೆ ಚಲಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಸಮಸ್ಥಿತಿಯು



ಚಿತ್ರ 10·5 p–n ಸಂಧಿ

ಏರ್ಪಟ್ಟಾಗ, ಒಂದು ಸಂಪರ್ಕ ಪೊಟೆನ್‌ಷಿಯಲ್ (contact potential) (E) ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಸಂಧಿ ಪ್ರದೇಶದ ಅಂತರವು ಸುಮಾರು 6×10^{-5} ಮಿ. ಮೀ. ಇರಬಹುದು.

ಚಿತ್ರ 10.5 n-p ಹರಳುಗಳನ್ನು ಜೋಡಿಸಿ, ಅವುಗಳ ಎರಡು ಪಾರ್ಶ್ವಗಳಲ್ಲಿಯೂ E, C ಲೋಹದ ಫಲಕಗಳನ್ನು ಅಳವಡಿಸಿದರೆ (fused) ಹೊರಮಂಡಲದಲ್ಲಿ M-A ಎಂಬ ವಿದ್ಯುತ್ ಮಾಪಕವನ್ನು ಸೇರಿಸಿದರೆ ಇದೊಂದು ವಿದ್ಯುತ್ಕೋಶದಂತೆ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. p–n ಸಂಧಿಪ್ರದೇಶ (J) ದ ಮೇಲೆ ಸೂರ್ಯನಿಂದ ಬರುವ ಬೆಳಕನ್ನು ಪ್ರವಹಿಸಿದರೆ, ಬೆಳಕಿನ ಶಕ್ತಿಯು ಗ್ರಹಣವಾಗಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಅಧಿಕ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಕಳಚಿಕೊಳ್ಳುತ್ತವೆ. ಅವುಗಳೊಂದಿಗೆ ರಂಧ್ರಗಳೂ ಜೊತೆಯಲ್ಲಿಯೇ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತವೆ. J ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿರುವ ಪ್ರಬಲ ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರದ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಎಡಗಡೆಗೂ, ರಂಧ್ರಗಳು ಬಲಗಡೆಗೂ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. ಇದರಿಂದ ಒಂದು ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹವು (I) ಏರ್ಪಟ್ಟು ವಿದ್ಯುತ್ ಮಾಪಕದಲ್ಲಿ (M) ಸೂಚಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಈಗ p–n ಸಂಧಿಯನ್ನು ಒಂದು ಬಾಹ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶಕ್ಕೆ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸುವುದರಿಂದ ಇದನ್ನು ಒಂದು ದ್ವಿಧ್ರುವದಂತೆ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದು. ಚಿತ್ರ 10.6 ಅಂದರೆ, ಇದರ ಎರಡು ಪಾರ್ಶ್ವಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ ವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು ಪರ್ಯಾಯವಾಗಿ (alternating) ಬದಲಾಯಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಿದರೆ, ಇದರಿಂದ ಏಕಮುಖ ವಿದ್ಯುತ್ (direct) ಪ್ರವಾಹವನ್ನು ಉತ್ಪತ್ತಿ ಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ವಿಧಾನದಿಂದ, ರೇಡಿಯೋದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ದ್ವಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಗಳ ಉಪಯೋಗವನ್ನು ಪಡೆಯಬಹುದು. ಕೆಳಗಿನ ಎರಡು ಚಿತ್ರಗಳಲ್ಲಿ n–p ಸಂಧಿಯನ್ನು ಎರಡು ವಿಧಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಲಾಗಿದೆ.



ಚಿತ್ರ 10·6 n – p ದ್ವಿಧ್ರುವ

(a) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ n ಪಾರ್ಶ್ವ (E) ವನ್ನು ಬಾಹ್ಯ ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ–ಧ್ರುವಕ್ಕೂ, p ಪಾರ್ಶ್ವದ (C) ಯನ್ನು + ಧ್ರುವಕ್ಕೂ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದೆ. ಇದನ್ನು ಮುಂಗಡ ವಾಲುವಿಕೆ (Forward Bias) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದೆ.

(b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ p ಪಾರ್ಶ್ವವನ್ನು (E) ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ – ಧ್ರುವಕ್ಕೂ, n– ಪಾರ್ಶ್ವ (C) ಯನ್ನು ಬಾಹ್ಯವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶದ + ಧ್ರುವಕ್ಕೂ ಬಂಧಿಸಿದೆ. ಇದು ವಿಪರ್ಯಯ ವಾಲುವಿಕೆ (Reverse Bias).

(a) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವ ಪ್ರಕಾರ, p ಯಲ್ಲಿ ರಂಧ್ರಗಳೇ (o) ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಆ ಕಡೆಯಿಂದಲೇ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಅವುಗಳು ಎಡಗಡೆಗೆ ಎಳೆಯಲ್ಪಡುತ್ತವೆ. ಏಕೆಂದರೆ, ಎಡದಿಂದ ಬಲಕ್ಕೆ ಹೆಚ್ಚು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಚಲಿಸುತ್ತವೆ ಮತ್ತು ಬಲದಿಂದ ಎಡಕ್ಕೆ ರಂಧ್ರಗಳು ಚಲಿಸಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಹೊರಮಂಡಲದಲ್ಲಿ ಅತಿ ಹೆಚ್ಚಾದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳ ಪ್ರವಾಹ I_F ವು ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೆ, (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಕಾಣುವಂತೆ p ಪಾರ್ಶ್ವವನ್ನು V ಕೋಶದ–ಧ್ರುವಕ್ಕೂ, n ಪಾರ್ಶ್ವ (C) ವನ್ನು + ಧ್ರುವಕ್ಕೂ ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದರೆ, ಬಲಗಡೆಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಕಡಮೆ ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿರುವ ಕಾರಣದಿಂದ, ಹೊರಗಡೆ ಬರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಪ್ರವಾಹದಲ್ಲಿ (I_R) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆಯು ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ವಿಪರ್ಯಯ ವಾಲುವಿಕೆ (Reverse Bias) ಯ ಲಕ್ಷಣ.

ಈ ಎರಡು ಮಾದರಿಗಳನ್ನೂ ಒಟ್ಟುಗೂಡಿಸಿ, V – I ಗಳಿಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದ ರೇಖಾಚಿತ್ರವನ್ನು ಎಳೆದರೆ, ಅದರ ರೂಪವು (c) ಚಿತ್ರದಂತೆ ಇರುತ್ತದೆ. (n – p) ಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆ F ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಬಹಳ ಕಡಿದಾಗಿ (steep) ಏರುವಿಕೆಯೂ, (p – n) ಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಕೆಳಭಾಗದಲ್ಲಿ (V ಗೆ ಋಣ ಮೌಲ್ಯಗಳು) ಕಡಮೆ ಮೌಲ್ಯದ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹವು ಉಂಟಾಗುತ್ತದೆ. ಈ ಚಿತ್ರವನ್ನೇ ಇದರ ವೈಯುಕ್ತಿಕ ರೇಖಾಚಿತ್ರ (characteristic curve) ದಂತೆ ಭಾವಿಸಬಹುದು.

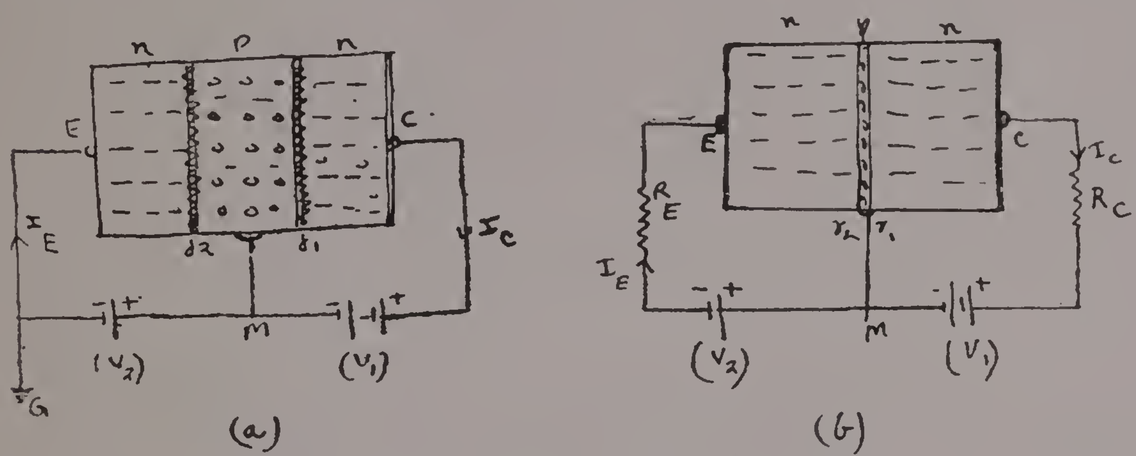
ಹೀಗಾಗಿ, n – p ಗಳ ನಡುವಣ ವಿದ್ಯುತ್ತನ್ನು ಪರ್ಯಾಯರೂಪದಲ್ಲಿ ಬದಲಾಯಿಸಿದರೆ (alternating) ನಮಗೆ ಹೊರಮಂಡಲವಲ್ಲಿ (ಹೆಚ್ಚುಕಡಮೆ) ಏಕಮುಖವಾಗಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್‌ಪ್ರವಾಹ ಬರುವುದರಿಂದ, ಇದನ್ನು ಏಕಮುಖ ಪರಿವರ್ತಕ ಸಾಧನವೆಂದು (Rectifier) ಭಾವಿಸಬಹುದು.

10.7 ಟ್ರಾನ್ಸಿಸ್ಟರ್ ತ್ರಿಧ್ರುವ (Transistor Triode)

ರೇಡಿಯೋ ವಾರ್ತಾಪ್ರಸಾರದಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಗಳಿಗೆ ಬದಲಾಗಿ ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ಅದೇ ಕೆಲಸಗಳನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ದಕ್ಷತೆಯಿಂದ ಮಾಡಲು, ಟ್ರಾನ್ಸಿಸ್ಟರ್‌ಗಳು ಬಳಕೆಗೆ ಬಂದಿವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಸಾಧನಗಳೆಲ್ಲವೂ ನಾವು ಇದುವರೆಗೆ ವಿಮರ್ಶೆ ಮಾಡಿರುವ ಅರ್ಧವಾಹಕ (semi-conductors) ಗಳೇ ಆಗಿವೆ. ಇವುಗಳನ್ನು ಮೊಟ್ಟಮೊದಲು ಪ್ರಯೋಗಗಳಲ್ಲಿ

ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟವರು ಷಾಕ್‌ಲಿ, ಬಾರ್ಡೀನ್ (Shockley, Bardeen) ಮತ್ತು ಸಹೋದ್ಯೋಗಿಗಳು. ಇವರು 1948 ರಲ್ಲಿ ಬೆಲ್ ಟೆಲಿಫೋನ್ ಪ್ರಯೋಗ ಶಾಲೆಗಳಲ್ಲಿ ಮಾಡಿದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳ ಫಲವೇ ಈ ಉಪಕರಣ.

ಟ್ರಾನ್ಸಿಸ್ಟರ್‌ನಲ್ಲಿ ಮೂರು ಅರ್ಧ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ ಅಂಗಗಳಿರುತ್ತವೆ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಎರಡು n-ಮಾದರಿ, ಒಂದು p-ಮಾದರಿ ಹರಳುಗಳು—ಇದನ್ನು n-p-n ಮಾದರಿ ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಇದರಂತೆಯೇ p-n-p ಮಾದರಿಯೂ ಇರಬಹುದು. ಈಗ ಇದನ್ನು ಹೇಗೆ ರಚಿಸಿ, ಯಾವ ರೀತಿಯಲ್ಲಿ ಉಪಯೋಗಿಸಬಹುದೆಂಬುದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರಗಳಿಂದ ತಿಳಿಯಬಹುದು. ...10.7



ಚಿತ್ರ 10.7 ಟ್ರಾನ್ಸಿಸ್ಟರ್—ಉಪಯೋಗಗಳು

(a) ಚಿತ್ರವನ್ನು ತೆಗೆದುಕೊಳ್ಳೋಣ. ಇದರಲ್ಲಿ ಎಡಭಾಗ (E) ವು ವಿಸರ್ಜಿತ (Emitter) ಬಲಭಾಗವು (c) ಗ್ರಾಹಕ (collector) ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ ಸಂಧಿ ಪ್ರದೇಶದಲ್ಲಿ (p) ಮಾದರಿಯ ಹರಳು ಹುದುಗಿಸಲ್ಪಟ್ಟಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಹೊರಗಡೆ B ಫಲಕಕ್ಕೆ ಬೆಸೆದಿರುವುದರಿಂದ ಅದನ್ನು ತಳ (B) (base) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗುತ್ತದೆ.

EB ಗಳ ನಡುವೆ v_2 ವಿದ್ಯುತ್ ಕೋಶವನ್ನು ಸಂಪರ್ಕ ಮಾಡಿಸಿದೆ. ಇದು ಸುಮಾರು 0.5 ವೋಲ್ಟ್ ಇರಬಹುದು. ಹಾಗೆಯೇ, BC ಗಳ ನಡುವೆ v_1 ವಿದ್ಯುತ್‌ಕೋಶವನ್ನು ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದೆ. ಇದು ಸುಮಾರು 3 ವೋಲ್ಟ್‌ಗಳಷ್ಟಿರಬಹುದು. ಉಪಯೋಗಿಸುವ ಮಾದರಿಗಳಲ್ಲಿ ಮಧ್ಯಭಾಗವು (p) ಅತಿ ತೆಳುವಾಗಿರುತ್ತದೆ—ಇದನ್ನು (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿದೆ. BE ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಅತಿ ಹೆಚ್ಚು ಸಂಖ್ಯೆಯಲ್ಲಿ B ಇಂದ E ಕಡೆಗೆ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ. v_2 ಪ್ರಮಾಣವು ಕಡಿಮೆಯಾಗಿದ್ದರೂ I_E ಪ್ರಮಾಣವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಚಿತ್ರ 10.6 (c) ರೇಖೆಯ F ಭಾಗಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಬಹುದು. ಆದರೆ, ಬಲಗಡೆ p–n ಭಾಗದಲ್ಲಿ I_C ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಪ್ರವಾಹವು ಬಹಳ ಕಡಮೆಯಿರುತ್ತದೆ. ಇದು ಅದೇ

ಚಿತ್ರ (c) ದ R ಭಾಗವನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ v_1 ವೋಲ್ಟೇಜನ್ನು ಹೆಚ್ಚಿಸಿದರೂ, I_C ಪ್ರಮಾಣವು ಗಮನಾರ್ಹವಾಗಿ ಹೆಚ್ಚುವಂತಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ BE ಗಳ ನಡುವಣ I_E ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಪರಿಸ್ಥಿತಿ ಹೀಗಿರುವಾಗ, (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ತಳ (b) ಭಾಗವನ್ನು ಅತಿ ತೆಳುವು ಮಾಡಿದರೆ, ಒಂದು ಮುಖ್ಯ ಬದಲಾವಣೆ ಆಗುತ್ತದೆ. ಎಡಗಡೆಯ ಸಂಧಿ (j) ಮೂಲಕ ತೂರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ರಂಧ್ರಗಳನ್ನು ಸೇರಿಕೊಳ್ಳಲು ಹೆಚ್ಚು ಅವಕಾಶವಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವುಗಳು ಹಾಗೆಯೇ ಮುಂದಕ್ಕೆ C ತುದಿಯಕಡೆಗೆ ಆಕರ್ಷಿತವಾಗಿ ಹೊರಬೀಳುತ್ತವೆ. ಆಕಡೆ ಧನ (+) ಪೊಟೆನ್‌ಷಿಯಲ್ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುವ ಕಾರಣ ಹೀಗಾಗುತ್ತದೆ. ನಡುವೆ ಇರುವ p ಹರಳಿನ ಅಂತರವು ಅತ್ಯಲ್ಪವಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ತಳ (b) ದ ಮೂಲಕ ಹೆಚ್ಚು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಬರುವಂತಿಲ್ಲ. ಆದ್ದರಿಂದ ಎರಡು ಸಂಧಿಗಳ ಮೂಲಕ ಪ್ರವಹಿಸುವ ವಿದ್ಯುತ್ ಸುಮಾರಾಗಿ ಒಂದೇ ಪ್ರಮಾಣವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಕೆಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿ ಗ್ರಹಣವಾಗುವುದರಿಂದ $I_E > I_C$.

$$\frac{I_C}{I_E} = (0.98 \text{ ಇರಬಹುದು}) \quad \ldots 10.1$$

BE ಮಂಡಲದಲ್ಲಿರುವ ವಿದ್ಯುತ್ ರೋಧ (R_E) ಕಡಮೆಯಾಗಿಯೂ, ಬಲಗಡೆ (CB) ಮಂಡಲದಲ್ಲಿ R_C ಹೆಚ್ಚಾಗಿಯೂ ಇದ್ದರೆ–

ಶಕ್ತಿವೃದ್ಧಿ (power gain) ಯನ್ನು a ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ–

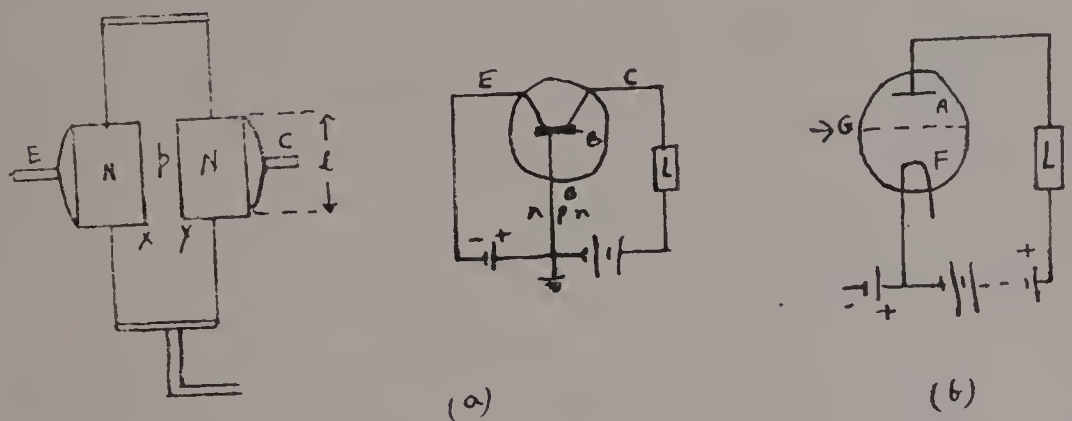
$$A = \frac{I_C^2.R_C}{I_E^2,R_E} = \frac{\text{ಉತ್ಪನ್ನ (output) ಶಕ್ತಿ}}{\text{ದತ್ತಶಕ್ತಿ (input)}} \quad \ldots 10.2$$

ಸಾಮಾನ್ಯವಾಗಿ $A = 40$ ಇರುತ್ತದೆ. ಇದರಿಂದ ಈ ಮಾದರಿಯ ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರನ್ನು ಶಕ್ತಿವರ್ಧಕವನ್ನಾಗಿ (amplifier) ಉಪಯೋಗಿಸಿದಂತಾಯಿತು.

10.8 ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್-ತ್ರಿಧ್ರುವನಾಳಿಕೆಗಳ ಹೋಲಿಕೆ

ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ಸಾಧನವು ತ್ರಿಧ್ರುವನಾಳಿಕೆಯನ್ನು ಬಹುಮಟ್ಟಿಗೆ ಹೋಲುತ್ತದೆ. ಹಿಂದೆ ತ್ರಿಧ್ರುವನಾಳಿಕೆಯು ರೇಡಿಯೋ ಮಂಡಲಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವ ಪಾತ್ರಗಳನ್ನು ವಹಿಸಿ, ಯಾವ ಯಾವ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಉಪಯೋಗವನ್ನು ಹೊಂದಿದ್ದಿತೋ ಈಗ ಅದೇ ಸ್ಥಾನಗಳಲ್ಲಿ, ಇನ್ನೂ ಅತಿ ಕಡಮೆ ಗಾತ್ರದ ಅವಕಾಶಗಳಲ್ಲಿ, ಹೆಚ್ಚು ದಕ್ಷತೆಯಿಂದ ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ನಿರ್ವಹಿಸುತ್ತಿದೆ. ಸಂಕೇತಗಳ ಶಕ್ತಿವರ್ಧನ, ಆಂದೋಳಕ ಮಂಡಲಗಳು (oscillatory circuits) ವಿದ್ಯುತ್ ಏಕಮುಖ

ಪರಿವರ್ತನ (Rectification) ಮುಂತಾದ ಮುಖ್ಯ ಕ್ರಿಯೆಗಳು ಇದರಲ್ಲಿ ಅಡಗಿವೆ. ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ರಚನೆಯು ಎಷ್ಟು ಸೂಕ್ಷ್ಮವಾದುದು ಮತ್ತು ಎಷ್ಟು ಗಾತ್ರವನ್ನು ಆಕ್ರಮಿಸುತ್ತದೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಕೆಳಗಿನ ಚಿತ್ರದಿಂದ (10.8) ತಿಳಿಯಬಹುದು.



ಚಿತ್ರ 10.8 ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ರಚನೆ

(a) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ತೋರಿಸಿರುವಂತೆ ಎರಡು n- ಹರಳುಗಳ ನಡುವೆ ಅತಿ ತೆಳುವಾದ ಪದರೆಯಂತಿರುವ ಬಿಲ್ಲೆ (wafer) p ಹರಳನ್ನು ಹುದುಗಿಸಿರುತ್ತದೆ. n- ಹರಳುಗಳನ್ನು ಒತ್ತಡ ಮತ್ತು ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳ ಮೂಲಕ p ಮಾದರಿಯ ಹರಳು ಅಂಟು ಬಿಲ್ಲೆ ಒಳಗೆ ಬೆಸೆದಿರುತ್ತದೆ. ಈ ಮಧ್ಯ ಭಾಗದ ತಳ (B) ದ ಅಗಲವು [ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ xy] ಕೇವಲ 0.003 ಸೆಂ. ಮೀ. ಎರಡು ಪಾರ್ಶ್ವಗಳಲ್ಲಿರುವ n– ಹರಳುಗಳನ್ನು ಕ್ರಮವಾಗಿ ಲೋಹ ಬಂಧನಗಳ ಮೂಲಕ E, C ಧ್ರುವಗಳಿಗೆ ಬಂಧಿಸಿದೆ. ಮಧ್ಯ ಭಾಗದಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗುವ p ಹರಳಿನ ಸಕ್ರಿಯ (active) ಉದ್ದವು (ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ l ಎಂದು ತೋರಿಸಿದೆ) 0.3 ಸೆಂ. ಮೀ. ಇರಬಹುದು. ಅತಿಸೂಕ್ಷ್ಮವಾಗಿ ರಚಿಸಿರುವ ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿ ಮಧ್ಯದಲ್ಲಿರುವ ತಲದ (B) ದಪ್ಪವು 10^{-4} ಸೆಂ. ಮೀ. ಇರಬಹುದು. ಕೆಲವು ವಿಶೇಷ ಸಂದರ್ಭಗಳಲ್ಲಿ B ಅಂತರವು 2–4 A (2×10^{-8} ಸೆಂ. ಮೀ.) ಇರಬಹುದು. (b) ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ಮತ್ತು ತ್ರಿಧ್ರುವ (Triode) ನಾಳಿಕೆಗಳಿಗೆ ಹೋಲಿಕೆಯನ್ನು ತೋರಿಸಿದೆ. ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್‌ನ ವಿಸರ್ಜ (E) ಕತ್ರಿಧ್ರುವದ (F) ತಂತುವಿನಂತೆ ವರ್ತಿಸಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು B ತಳಕ್ಕೆ ಒದಗಿಸುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ ತಳವು (B) ತ್ರಿಧ್ರುವದ ಜಾಲ (Grid) ವನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ. ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್‌ನ (C) ಗ್ರಾಹಕವು ವಿದ್ಯುದ್ವಾಹಕಗಳನ್ನು ಶೇಖರಿಸುವುದರಿಂದ, ತ್ರಿಧ್ರುವದ ಫಲಕ (A) (Plate) ವನ್ನು ಹೋಲುತ್ತದೆ. ಗ್ರಾಹಕದ ಮಂಡಲದಲ್ಲಿರುವ L [Load] ಬಾಹ್ಯವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕವೂ ಅದೇ ರೀತಿಯ ತ್ರಿಧ್ರುವದಲ್ಲಿ (L) ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕದಂತೆಯೇ ವರ್ತಿಸುತ್ತದೆ. ಎರಡು ಉಪಕರಣಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ಸಂಕೇತಗಳ ಶಕ್ತಿವರ್ಧನ (amplification)ವು ಉಂಟಾಗುವುದು.

ಈಗಾಗಲೇ ತಿಳಿಸಿರುವಂತೆ, ಜೇಬಿನಲ್ಲಿ ಒಯ್ಯಬಹುದಾದ (Pocket size) ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ಸಾಧನಗಳು ವಿಶೇಷ ಬಳಕೆಗೆ ಬಂದಿವೆ. ಹಳೆಯ ಮಾದರಿಯ ತ್ರಿಧ್ರುವ ನಾಳಿಕೆಯ ಉಪಕರಣಗಳು ಅತಿ ಭಾರವಾಗಿಯೂ, ದುಬಾರಿ ಬೆಲೆಯುಳ್ಳವೂ ಆದ್ದರಿಂದ ಅನುಪಯುಕ್ತವಾಗುತ್ತಿವೆ.

ಗಾತ್ರವು ಬಹಳ ಚಿಕ್ಕದಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ನೂರಾರು ಟ್ರಾನ್‌ಸಿಸ್ಟರ್ ಮಂಡಲ ಗಳನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನಿಕ್ ಗಣಕಗಳು (Computers) ನಿರ್ಮಾಣ ವಾಗುತ್ತಿವೆ.

ಶಕ್ತಿಯ ಉಚ್ಚಮಿತಿಯು 50 kw ವರೆಗೆ ಏರುವುದರ ಮೂಲಕವೂ, ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆಯ ಅವಧಿಗಳು 50 ಮಿಲಿಯನ್ ಇಂದ 3000 ಮಿಲಿಯನ್ ಆವರ್ತಗಳ ವರೆವಿಗೂ ಏರುವ ಅವಕಾಶವಿರುವುದರಿಂದಲೂ ಟೆಲಿವಿಷನ್ ಸಾಧನಗಳಲ್ಲಿ ಇವುಗಳ ಉಪಯುಕ್ತತೆಯು ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತಿದೆ.

10.9 ಘನವಸ್ತುಗಳಲ್ಲಿ ಶಕ್ತಿತಂಡಗಳು (Energy Bands)

ಪರಮಾಣುಗಳ ಸಮೂಹಗಳು ಒಟ್ಟುಗೂಡಿರುವ ಘನ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಒಂದೊಂದು ಪರಮಾಣುವಿಗೂ ಅನ್ವಯವಾಗುವ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟ (Energy levels) ಗಳಲ್ಲಿ ಪಲ್ಲಟಗಳು (shifts) ಉಂಟಾಗುತ್ತವೆ. ಇದು ಪರಮಾಣುವಿನ ಸುತ್ತಲೂ ಮುತ್ತಿಕೊಂಡಿರುವ ಇತರ ಪರಮಾಣುಗಳ ಪ್ರಭಾವದಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುತ್ತದೆ. ಅದರಲ್ಲಿಯೂ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಅತ್ಯಂತ ಹೊರವಲಯಗಳಲ್ಲಿರುವ ಸಂಯೋಗ (valence) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ ಶಕ್ತಿಗಳು (Potential energies) ಗಮ ನೀಯವಾಗಿ ಬದಲಾಗುತ್ತವೆ. ತರಂಗ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ, ವೈಯುಕ್ತಿಕ ಪರಮಾಣುಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯಿಸುವ ಮೊನಚಾದ (Sharp) ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳು ವಿಸ್ತರಿಸಿ ಅಗಲವಾಗುತ್ತವೆ. ಅಂದರೆ ಅವುಗಳು ಶಕ್ತಿತಂಡಗಳಾಗಿ ಪರಿವರ್ತಿತವಾಗುತ್ತವೆ.

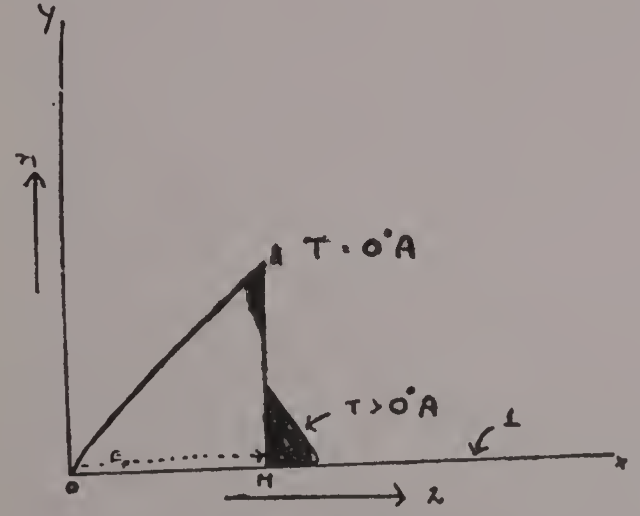
O° A ನಲ್ಲಿರುವ ಹರಳಿನ ಪರಮಾಣುಗಳು ಸಾಮಾನ್ಯ ಸ್ಥಿರಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿಯೇ ಇರುವೆಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಒಂದೊಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವೂ ತನ್ನ ಅತ್ಯಂತ ಕನಿಷ್ಟ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟದಲ್ಲಿದ್ದು, ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಲೋಹದ ವಸ್ತು ಗಳಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಸ್ವತಂತ್ರವಾಗಿ ಚಲಿಸಲು ಅವಕಾಶವಿರುವುದರಿಂದ, ಶಕ್ತಿ ತಂಡದಲ್ಲಿ ಸ್ವಲ್ಪ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇದ್ದು, ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ಷೇತ್ರವು ಏರ್ಪಟ್ಟಾಗ, ಅವು ಗಳು ಸುಲಭವಾಗಿ ಚಲಿಸಬಲ್ಲುವು.

ಅರ್ಧವಾಹಕ (Semi conductors) ಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ, ಉಷ್ಣಾಂಶವು ಏರಿದರೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಕೆಳಗಿನ ಮಟ್ಟದಿಂದ ಮೇಲು ಮಟ್ಟಗಳಿಗೆ ಹೋಗಲು

ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಆಗ ಅವುಗಳು ಖಾಲಿಮಾಡುವ ಪ್ರದೇಶಗಳು (ರಂಧ್ರಗಳು) ಕೂಡ ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕಗಳಂತೆ ವರ್ತಿಸಬಹುದು. ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ವಿದ್ಯುತ್‌ವಾಹಕ (conduction) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳೆಂದು ಕರೆಯಬಹುದು.

ವಿದ್ಯುತ್ ನಿರೋಧಕ (insulators) ಗಳಲ್ಲಿ, ಅತ್ಯುಚ್ಚ ಶಕ್ತಿತಂಡಕ್ಕೂ ಮತ್ತೊಂದು ಪರಿಮಿತ (permitted) ತಂಡಕ್ಕೂ ಅಂತರವು ಬಹಳ ಹೆಚ್ಚಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಸಾಮಾನ್ಯ ಉಷ್ಣಾಂಶಗಳ ಏರಿಕೆಯಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳನ್ನು ಈ ಅಂತರವನ್ನು ದಾಟಿಸಿ, ಮೇಲಿನ ವಹನತಂಡಗಳಿಗೆ ಏರಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಅದೂ ಅಲ್ಲದೆ, ತುಂಬಿದ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ನಿರ್ಬಂಧಿತ (not free) ವಾಗಿರುತ್ತವೆ.

O° A (ಶೂನ್ಯನಿರುಪಾಧಿಕ ಬಿಂದು)ವಿನಲ್ಲಿ ಲೋಹವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಶಕ್ತಿಗಳನ್ನು ಯಾವ ಮಾದರಿಯ ಹಂಚಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಹೊಂದಿರುತ್ತವೆ ಎಂಬುದನ್ನು ಫರ್ಮಿ (fermi) ತೋರಿಸಿಕೊಟ್ಟಿದ್ದಾನೆ. ಅವನ ಪ್ರಕಾರ, O° A, ಉಷ್ಣಾಂಶದಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳಿಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಉಚ್ಚಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಹೊಂದಿರಬಹುದಾದ ಶಕ್ತಿಯ ಮಿತಿ ಇದೆ. ಇದನ್ನು E_f ಅಥವಾ ಫರ್ಮಿಶಕ್ತಿ ಎಂದು ಕರೆಯಬಹುದು. ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನು ಏರಿಸಿದರೆ, ಕೆಲವು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಎತ್ತರದ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳಿಗೆ ಹೋಗಬಹುದು. ಆಗ, ಕೆಳಗಿನ ಮಟ್ಟಗಳು ಖಾಲಿಯಾಗುತ್ತವೆ. ಆದರೂ 300° A ಉಷ್ಣವಿದ್ದಾಗಲೂ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸರಾಸರಿ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯು ಸ್ವಲ್ಪ ಏರುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಒಂದು ಲೋಹದ ಉಷ್ಣಾಂಶವನ್ನು ಏರಿಸಲು ಒದಗಿಸುವ ಉಷ್ಣದ ಸ್ವಲ್ಪಭಾಗವು ಮಾತ್ರ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನ ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಏರಿಸಲು ಉಪಯೋಗಿಸಲ್ಪಡುತ್ತದೆ.



→ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನಶಕ್ತಿ
ಚಿತ್ರ 10.9 ಫರ್ಮಿಶಕ್ತಿ

ಚಿತ್ರದಲ್ಲಿ (10.9) ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಚಲನಶಕ್ತಿಗೂ, ಅದನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳ ಸಂಖ್ಯೆ (n) ಗೂ ಇರುವ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ತೋರಿಸಿದೆ.

O° A ಉಷ್ಣಾಂಶದಲ್ಲಿ OM = E_f = ಫರ್ಮಿಶಕ್ತಿ ಎಂದು ತಿಳಿಯಬಹುದು. ಒಂದೊಂದು ವಸ್ತುವಿಗೂ, ಈ ಫರ್ಮಿಮಟ್ಟವನ್ನು ತಿಳಿಯುವುದು ಅವಶ್ಯಕ –ಎರಡು ವಸ್ತುಗಳನ್ನು ಸಂಪರ್ಕಗೊಳಿಸಿದರೆ, ಯಾವ ವಸ್ತುವಿನಲ್ಲಿ ಫರ್ಮಿಮಟ್ಟ (E_f)ವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿದೆಯೋ ಅಲ್ಲಿಂದ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಗಳು ಇನ್ನೊಂದು ವಸ್ತುವಿನ ಕಡೆ ಚಲಿಸುತ್ತವೆ—

ಘನಸ್ಥಿತಿ ವಿಜ್ಞಾನವು ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಅತ್ಯಂತ ಪ್ರಮುಖವಾದ ಪಾತ್ರವನ್ನು ಇತ್ತೀಚಿನ ವರ್ಷಗಳಲ್ಲಿ ವಹಿಸುತ್ತಿದೆ. ಶುದ್ಧವಿಜ್ಞಾನದ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಔಪಯೋಗಿಕ ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದಲೂ, ಇದರಲ್ಲಿ ನಡೆಯುತ್ತಿರುವ ಸಂಶೋಧನೆಗಳು ಬಹಳ ಮಹತ್ವವನ್ನು ಹೊಂದಿವೆ.

11. ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವದ ತತ್ತ್ವ

11.1 ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್‌ನ ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವದ ತತ್ತ್ವ

1925-1930 ಅವಧಿಯಲ್ಲಿ ನಡೆದ ಮಹತ್ವ ಪೂರಿತ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಲ್ಲಿಯೂ, ತತ್ತ್ವದಲ್ಲಿಯೂ, ಕ್ವಾಂಟಂಚಲನ ಸಿದ್ಧಾಂತವು ಪ್ರಕಟಿತವಾಗಿ ಅದರಿಂದ ವಸ್ತುವಿನ ಕಣ–ತರಂಗಗಳ ದ್ವಂದ್ವ ಪ್ರವೃತ್ತಿಗೆ ಒಂದು ಸಮಾಧಾನವನ್ನು ತಂದಿತೆಂದು ಹಿಂದಿನ ಅಧ್ಯಾಯಗಳಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಲಾಗಿದೆ. ವಸ್ತು ಮತ್ತು ಬೆಳಕುಗಳಿಗೆ ಸಹಜವಾದ ಈ ದ್ವಂದ್ವ ಪ್ರವೃತ್ತಿ (duality) ಗೆ ಸಂಬಂಧಿಸಿದಂತೆಯೇ ಹೈಸನ್ ಬರ್ಗ್ ಎಂಬ ತರುಣ ಜರ್ಮನ್ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು 1927 ರಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವದ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿದನು. ಒಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನೋಡಿದರೆ, ಇದು ಒಂದು ಕ್ರಾಂತಿಕಾರಕ ಸನ್ನಿವೇಶವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಿತು. ಏಕೆಂದರೆ, ವಿಜ್ಞಾನ ಮಾರ್ಗ ಮತ್ತು ವಿಜ್ಞಾನದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಮೂಲಭೂತವಾದ ಪ್ರಯೋಗ ಮತ್ತು ಅಳತೆಗಳ ನಿಖರತ್ವವನ್ನೇ ಇದು ಪ್ರಶ್ನಿಸುವಂತೆ ತೋರುತ್ತದೆ.

ಈ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣು ಪ್ರಪಂಚದಲ್ಲಿ ಕ್ರಿಯೆಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ಸೂಕ್ಷ್ಮಕಣಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನ ಮತ್ತು ಆವೇಗ (position and momentum) ಗಳನ್ನು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಅತ್ಯಂತ ನಿಖರ (perfect accuracy) ತ್ವದಿಂದ ಕಂಡು ಹಿಡಿಯುವುದು ಸಾಧ್ಯವಿಲ್ಲ. ಇದನ್ನು ಬೇರೆ ಒಂದು ಮಾದರಿಯಲ್ಲಿ ತಿಳಿಸಿದರೆ, ಒಂದು ಪ್ರಯೋಗದಲ್ಲಿ ನಾವು ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನಕ್ಕೆ ಪ್ರಧಾನ ಗಮನವನ್ನು ಕೊಟ್ಟು ಅತಿನಿಖರತೆಯಿಂದ ಅಳೆಯಲು ಉದ್ದೇಶಿಸಿದರೆ, ಕಣದ ಆವೇಗದ ಅಳೆಯುವಿಕೆಯಲ್ಲಿ ಕೊರತೆಯು ಏರ್ಪಡುತ್ತದೆ. ಹಾಗೆಯೇ ಕಣದ ವೇಗವನ್ನು ಹೆಚ್ಚು ನಿರ್ದಿಷ್ಟತೆಯಿಂದ ತಿಳಿದಷ್ಟು, ಅದರ ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನದ ನಿಖರತೆಯು ಕುಂದುತ್ತದೆ. ಇದರ ಸೂತ್ರರೂಪವು ಹೀಗಿದೆ.

$$\Delta x \cdot \Delta p = h \qquad \ldots \quad 11.1$$

Δx = ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದಿಷ್ಟತೆಯಲ್ಲಿ ವ್ಯತ್ಯಾಸ; Δp = ಆವೇಗ (momentum) ವನ್ನು ಗೊತ್ತು ಮಾಡುವುದರಲ್ಲಿ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವ ಅನಿರ್ದಿಷ್ಟತೆ : h = ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನಿಯತಾಂಕ. ಈ ತತ್ತ್ವವು ಫೋಟಾನ್ ಮತ್ತು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಗಳಿಗೆ ಅನ್ವಯವಾಗುತ್ತದೆ. ಆದರೂ ಇದರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ಸಾಮಾನ್ಯ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರದಲ್ಲಿ ವಿಚಾರ ಮಾಡುವ ದೊಡ್ಡ ಪ್ರಮಾಣದ ವಸ್ತುಗಳಿಗೂ ವಿಸ್ತರಿಸುತ್ತದೆ. ಆದರೆ 'h' ನಿಯತಾಂಕವು

ಬಹಳ ಅಲ್ಪಮೌಲ್ಯವನ್ನು ಹೊಂದಿರುವುದರಿಂದ, ಈ ವಸ್ತುಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ Δx, Δp ಗಳ ಮೌಲ್ಯಗಳೂ ಅತಿ ಕಡಮೆಯಾಗಿದ್ದು ವಾಸ್ತವವಾಗಿ ಗಮನಾರ್ಹ ವಾಗುವುದಿಲ್ಲ.

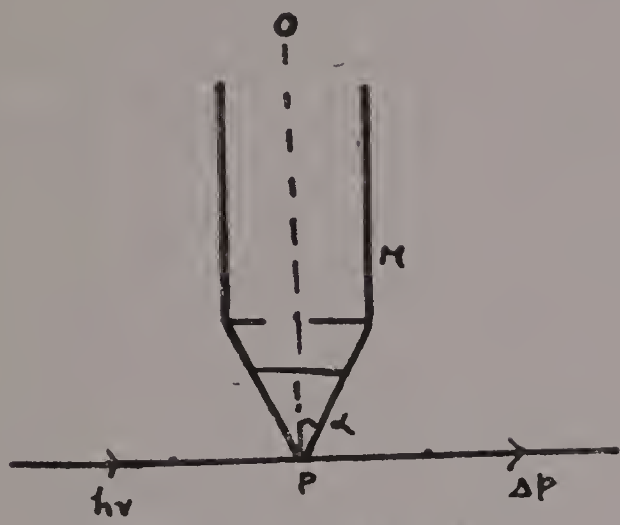
ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್, ಫೋಟಾನ್‌ಕಣಗಳ ಆವೇಗ ಪ್ರಮಾಣಗಳೇ ಕಡಮೆಯಾಗಿರುವುದ ರಿಂದ, ಅವುಗಳ ಅನಿರ್ದಿಷ್ಟತೆಯು ಆವೇಗಕ್ಕೆ ಹೋಲಿಸಿದರೆ, ಹೆಚ್ಚಾಗಿಯೇ ಇರು ವುದು. ಇದಿಲ್ಲದಿದ್ದರೆ, ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನವೂ ಅಸ್ಪಷ್ಟವಾಗುತ್ತದೆ. ಇದನ್ನು ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಉದಾಹರಣೆಯಿಂದ ವಿವರಿಸಬಹುದು.

ಒಂದು ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದ ಮೂಲಕ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಅಂಥ ಒಂದು ಸಣ್ಣ ಕಣ ವನ್ನು ವೀಕ್ಷಿಸಲು ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ಮಾಡಿದರೆ, ಆ ಉಪಕರಣಕ್ಕೆ ಒಂದು ಪೃಥಕ್ಕರಣ ಶಕ್ತಿಯು (Resolving power) ಇರುತ್ತದೆ. ಕಣದ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ನಿರ್ದೇಶಿಸ ಬೇಕಾದರೆ, ಅದರ ಮೇಲೆ ಪ್ರಬಲಶಕ್ತಿಯ ಬೆಳಕು ಅಥವಾ ವಿಕಿರಣವನ್ನು (Radiation) ಬೆಳಗಿಸಬೇಕು. ಬೆಳಗಿಕಿಂತ, ಅತಿನೀಲ ಬೆಳಕು, ಅದಕ್ಕಿಂತ γ-ಕಿರಣ ಗಳು ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಪಡೆದಿರುತ್ತವೆ. ಕ್ವಾಂಟಂ ಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಈ ಕಿರಣಗಳ ಶಕ್ತಿಯು $h\nu$ ಆಗಿರಬೇಕು (ν = ಕಂಪನ ಸಂಖ್ಯೆ)—ಈ ಕಿರಣಗಳಿಗೂ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೂ ಘರ್ಷಣೆಯಾದರೆ, ಕಣವು ಶಕ್ತಿಯನ್ನು ಗ್ರಹಣ ಮಾಡುತ್ತದೆ. ಮತ್ತು ಇದರ ಫಲವಾಗಿ, ಅದರ ಆವೇಗವು ಬದಲಾಗುತ್ತದೆ. ಫೋಟಾನ್ ಕಣವೂ ಕೂಡ, ಚದರುತ್ತದೆ. ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಹಿಂಜರಿಯುವಿಕೆ (Recoil) ಯು ಕಾಂಪ್ಟನ್ ನಿಯಮವನ್ನು ಅನುಸರಿಸುತ್ತದೆ. ಆದ್ದರಿಂದ, ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನವು ನಿಖರವಾಗಿರಬೇಕಾದರೆ, ಹೆಚ್ಚು ಶಕ್ತಿಯ ವಿಕಿರಣವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕು. ಅದೇ ಸಮಯದಲ್ಲಿ, ಅದರೊಂದಿಗೆ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣದ ಚಲನವು ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಅದರ ಆವೇಗದಲ್ಲಿ ಬದಲಾವಣೆ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ, ಅದರಲ್ಲಿ ಅಸ್ಪಷ್ಟತೆಯೂ ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನದ ಅಸ್ಪಷ್ಟತೆಯೂ, ಆವೇಗದ ಅಸ್ಪಷ್ಟತೆಯೂ ವಿಲೋಮ ವಾಗಿ (inverse) ಬದಲಾವಣೆಯಾದಂತಾಗುತ್ತದೆ. ಇವುಗಳನ್ನು Δx ಮತ್ತು Δp ಎಂದು ಸೂಚಿಸಿದರೆ,

$$\Delta x \ \Delta p = \text{ನಿಯತಾಂಕ} = h = \text{ಪ್ಲಾಂಕ್‌ನಿಯ ತಾಂಕ}$$

ಇದರಲ್ಲಿ ಒಂದು ಸ್ವಾರಸ್ಯವಾದ ವಿಷಯವೇನೆಂದರೆ, ಒಂದೊಂದು ಪ್ರಯೋಗ ದಲ್ಲಿಯೂ, ಉಪಕರಣಗಳ ಜೋಡಣೆಯ ವಿಧಾನಕ್ಕೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿ, Δx ಮತ್ತು Δp ಗಳ ಪ್ರಮಾಣಗಳನ್ನು ನಿರ್ದಿಷ್ಟವಾಗಿ ಗೊತ್ತುಮಾಡಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಆದ್ದ ರಿಂದ ಅವುಗಳಿಂದ ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್‌ತತ್ತ್ವಕ್ಕೂ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರಕುತ್ತದೆ.

ಮೇಲಿನ ಉದಾಹರಣೆಯಲ್ಲಿಯೇ



ಚಿತ್ರ (11.1) ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವದ ತತ್ವ

$$\triangle p = \frac{2h\nu}{c} \sin \alpha \quad \text{(ಕಾಂಪ್ಟನ್ ನಿಯಮದ ಪ್ರಕಾರ)} \quad \ldots \quad 11.2$$

$$= \frac{2h}{\lambda} \sin \alpha \quad \ldots \quad 11.3$$

ಹಾಗೆಯೇ, $\triangle x$ = ಸೂಕ್ಷ್ಮದರ್ಶಕದ ಪೃಥಕ್ ಕರಣ ಶಕ್ತಿ (Resolving power) ಎಂದು ತಿಳಿದರೆ $\triangle x = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$ (ಸಾಮಾನ್ಯ ಸೂತ್ರದ ಪ್ರಕಾರ) ... 11.4

$$\therefore \triangle x \triangle p = \frac{2h}{\lambda} \text{ Sin } \alpha \frac{\lambda}{2 \text{ Sin } \alpha} = h \quad \ldots \quad 11.5$$

11.2. ಭೋರ್ ವಿವರಣೆ

ಈ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಭೋರ್ ವಿಮರ್ಶಿಸಿ, ಅದರಿಂದ ಒಂದೇ ಸಂಭವದ (phenomenon) ಎರಡು ಪೂರಕದೃಷ್ಟಿಗಳನ್ನು (Complementary) ಪಡೆಯ ಬಹುದೆಂದು ತಿಳಿಸಿದ್ದಾನೆ. ಅಂದರೆ ಒಂದು ಸಂಭವದ ಪೂರ್ಣಚಿತ್ರವನ್ನು ಹೊಂದಬೇಕಾದರೆ ಸಮಗೆ ವಸ್ತುವಿನ ಕಣ ಮತ್ತು ಅಲೆಗಳೆಂಬ ಎರಡು ಮುಖಗಳ ಗುಣಗಳೂ ಬೇಕು. ಆದರೆ, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್‌ ತತ್ತ್ವದ ಪ್ರಕಾರ, ಒಂದೇ ಪ್ರಯೋಗ ದಲ್ಲಿ ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಈ ಎರಡು ಮುಖಗಳೂ ಕಾಣುವಂತಿಲ್ಲ. ನಾವು ಯಾವ ಪ್ರಯೋಗವನ್ನು ನಿರ್ಮಿಸಿದರೂ, ಅದರಲ್ಲಿ ಕಣ ಅಥವಾ ಅಲೆ ಇವುಗಳ ಪ್ರದರ್ಶನ ವನ್ನು ಕಾಣಬಹುದು. ಇದಕ್ಕೆ ಯಂಗ್ ಉಪಕರಣದಲ್ಲಿ ಬೆಳಕಿನ ವ್ಯತಿಕರಣದ

ವಿಷಯವನ್ನೇ ತೋರಿಸಬಹುದು. ಅಲೆಗಳ ರೂಪದಿಂದ ಪ್ರಯೋಗಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯನ್ನು ಕೊಡಬಹುದು. ಬೆಳಕು ಫೋಟಾನ್‌ಕಣದಂತೆ ವರ್ತಿಸುವಂತೆ ಭಾವಿಸಿದರೆ, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಉಪಯೋಗಿಸಬೇಕಾಗುತ್ತದೆ. ಅಂದರೆ, ಈ ತತ್ತ್ವಕ್ಕೂ ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ ಸಮನ್ವಯಕ್ಕೂ ಸಂಬಂಧವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಬಹುದು.

ನಾವು ವರ್ಣಪಟಲದ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ವಿಮರ್ಶಿಸಿದರೆ, ಕ್ವಾಂಟಂಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಈ ರೇಖೆಗಳನ್ನು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವು ನಿರ್ದಿಷ್ಟಶಕ್ತಿ ಸ್ಥಿತಿಗಳನಡುವೆ ಪರಿವರ್ತನೆ ಹೊಂದುವುದರಿಂದ ಉತ್ಪನ್ನವಾಗುವಂತೆ ತಿಳಿಯಬೇಕು. ಆದರೆ, ಕ್ವಾಂಟಂ ಚಲನಸಿದ್ಧಾಂತದ ಪ್ರಕಾರ, ಪರಮಾಣುವಿನ ಶಕ್ತಿಸ್ಥಿತಿಗಳನ್ನು ಚೂಪಾದ (sharp levels) ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಮಟ್ಟಗಳಂತೆ ಭಾವಿಸಲು ಸಾಧ್ಯವಾಗುವುದಿಲ್ಲ. ಈ ಶಕ್ತಿಪ್ರಮಾಣಗಳು ಕೆಲವು ಪ್ರಧಾನ ಶೃಂಗಗಳನ್ನು ಹೊಂದಿರುವ ಸಂಭವನೀಯತೆ (probability of pronounced peaks) ಗೆ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕು. ಅಂದರೆ, ಈ ಪಟಲರೇಖೆಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಅಗಲ (width) ವಿರುವಂತೆ ಭಾವಿಸಬೇಕು. ಇದರ ಅರ್ಥವೇನೆಂದರೆ :- ಒಂದು ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್‌ಕಣವು ತನ್ನ ಉದ್ರೇಕಸ್ಥಿತಿಯ (excited (state) ಮಟ್ಟದಲ್ಲಿ ಹೆಚ್ಚುಕಾಲ ಇದ್ದಷ್ಟೂ, ಕೆಳಗಿನ ಸ್ಥಿತಿಗೆ ಪರಿವರ್ತನೆಯಾಗುವುದಕ್ಕೆ ಮುಂಚೆ ಕೆಲವು ಸದೃಶ ಸ್ಥಿರ ಸ್ಥಿತಿಗಳನ್ನು (meta-stable states ಮುಟ್ಟಲು ಅವಕಾಶವಿದೆ. ಈಶಕ್ತಿಮಟ್ಟಗಳ ಅಗಲಕ್ಕೆ ಸಂಬಂಧಿಸುವಂತೆ ಮಾಡಲು, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ತತ್ತ್ವವನ್ನು ಸ್ವಲ್ಪ ಮಾರ್ಪಡಿಸಬಹುದು. ಇದರ ರೂಪವು ಹೀಗಾಗುತ್ತದೆ.

$$\Delta E. \quad \Delta t = h. \qquad \ldots \quad 11.6$$

ΔE = ಶಕ್ತಿಯ ನಿರ್ದೇಶನದಲ್ಲಿ ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವ.

Δt = ಕಾಲನಿರ್ಣಯದಲ್ಲಿ ಅಸ್ಪಷ್ಟತೆ.

ಸ್ವಾಭಾವಿಕ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಇರುವಾಗ, ΔE ಕಡಮೆಯಾಗಿರುವುದರಿಂದ Δt ಹೆಚ್ಚಾಗುತ್ತದೆ. ಉದ್ರೇಕ ಸ್ಥಿತಿಯಲ್ಲಿ ಅತಿ ಕಡಮೆ ಕಾಲವಿರುವುದರಿಂದ, ಶಕ್ತಿಯ ಅನಿರ್ದಿಷ್ಟತೆಯೂ ಹೆಚ್ಚಾಗಿ ಶಕ್ತಿಮಟ್ಟವು ಅಗಲವಾಗುವ ಸಂಭವವಿದೆ. ಇವುಗಳು ಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೆ ಅನುಗುಣವಾಗಿವೆ.

11.3 ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ ಮತ್ತು ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್‌ತತ್ತ್ವ

ಸಾಂಪ್ರದಾಯಿಕ ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರದ ಸೂತ್ರಗಳಿಗೆಲ್ಲ ಆಧಾರಭೂತವಾದ ಕಲ್ಪನೆಯೇನೆಂದರೆ ಒಂದು ಕಣವು ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಸಮಯದಲ್ಲಿ (instant) ಒಂದು

ಸ್ಥಿರಸ್ಥಾನವನ್ನೂ ಹೊಂದಿ, ಒಂದು ನಿರ್ದಿಷ್ಟ ಆವೇಗವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರಲು ಸಾಧ್ಯವಿದೆ. ಅಂದರೆ, ಕಾಲವ್ಯತ್ಯಾಸದಿಂದ ಆ ಕಣವು ಒಂದು ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನರೇಖೆ (continuous curve)ಯ ರೂಪದಲ್ಲಿ ತನ್ನ ಮಾರ್ಗವನ್ನು ಕಲ್ಪಿಸಿಕೊಳ್ಳುತ್ತದೆ. ಆದುದರಿಂದ, ಈ ಕಣದ ವಿವಿಧಸ್ಥಾನಭೇದಗಳನ್ನೂ ಆವೇಗಗಳ ವ್ಯತ್ಯಾಸಗಳನ್ನೂ ಸೂಕ್ತವಾದ ಸೂತ್ರಗಳಿಂದ ಗೊತ್ತುಮಾಡಬಹುದು.

ಆದರೆ, ಈಗಿರುವ ನಮ್ಮ ಸಿದ್ಧಾಂತಗಳ ಪ್ರಕಾರ, ಕಣವೆಂದರೆ ಅಲೆಯ ಲಕ್ಷಣಗಳನ್ನೂ ಅನ್ವಯಿಸಬೇಕು. ಅಲೆ ಎಂದು ತಿಳಿದಮಾತ್ರದಲ್ಲಿಯೇ ಒಂದು ಸಂಭವನೀಯತೆಯ ಪ್ರಶ್ನೆಯು ಏಳುತ್ತದೆ. ಸಂಭವನೀಯತೆ ಎಂದರೆ ಅನಿಶ್ಚಿತತೆ– ಈದೃಷ್ಟಿಯನ್ನು ಪರಮಾಣುವಿನಲ್ಲಿರುವ ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣಕ್ಕೆ ಅನ್ವಯಿಸಿ, ಎಲೆಕ್ಟ್ರಾನ್ ಕಣವನ್ನು ಒಂದು ಸಂಭವನೀಯತೆಯ ಮುಸುಕು ಆವರಿಸಿರುವಂತೆ (cloud of probability) ಕಲ್ಪನೆಮಾಡಬೇಕು. ಇದರಿಂದ ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್‌ತತ್ತ್ವಕ್ಕೆ ಸಮರ್ಥನೆಯು ದೊರಕಿದಂತಾಗುತ್ತದೆ.

ಭೋರ್‌ಹೇಳಿರುವಂತೆ, "ಹೊಸ ಕ್ವಾಂಟಂಸಿದ್ಧಾಂತವು ಹಿಂದಿನ ಭೌತ ವಿಜ್ಞಾನದ ದೇಶ - ಕಾಲ (space-time) ನಿರ್ದೇಶನತ್ವದ ಕಾರ್ಯಕಾರಣ (causal) ಸಂಬಂಧಕ್ಕೆ ಬದಲಾಗಿ, ಎರಡು, ಪರಸ್ಪರವಿರುದ್ಧ, ಹಾಗೂ, ಪೂರಕ ಭಾವನೆಗಳಾದ ವೈಯುಕ್ತಿಕತೆ ಮತ್ತು ಪೋಣಿಸುವಿಕೆ (complementary ideas of individuality and super-position) ಗಳಿಗೆ ಸ್ಥಾನವನ್ನು ಕೊಟ್ಟಿದೆ".

11.3 ಪ್ರಕೃತಿಯ ವರ್ತನೆ

ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ವದ ನಿಯಮವು ಆಧುನಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರದ ಒಂದು ಪ್ರಮುಖ ಸಿದ್ಧಾಂತವಾದರೂ, ಅದರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯು ತತ್ತ್ವಶಾಸ್ತ್ರ (Philosophy)ದ ಎಲ್ಲೆಯನ್ನು ಮುಟ್ಟಿ, ದಾಟುವಂತೆ ಭಾಸವಾಗಬಹುದು. ಇದರಲ್ಲಿ ಆಶ್ಚರ್ಯವೇನೂ ಇಲ್ಲ. ಹಿಂದಿನ ಶತಮಾನದಲ್ಲಿ ಭೌತವಿಜ್ಞಾನವನ್ನು ಪ್ರಕೃತಿಯ ತತ್ತ್ವಜ್ಞಾನ (Natural Philosophy) ಎಂದು ಕರೆಯಲಾಗಿದ್ದಿತು. ಭೌತಪ್ರಪಂಚದ ಅರಿವನ್ನು ಮಾಡಿಕೊಡಲು ಉದ್ಯುಕ್ತವಾದ ಈ ವಿಜ್ಞಾನಶಾಖೆಯು ಈಗ ಹಲವಾರು ಪ್ರಮುಖ ಮುನ್ನಡೆಗಳ ಮೂಲಕ ಪ್ರಕೃತಿಯ ವಿದ್ಯಮಾನಗಳಿಗೆ ಹಿಂದಿರಬಹುದಾದ ಸೂಕ್ಷ್ಮಮರ್ಮವನ್ನು ತಿಳಿಸುವಂತಿದೆ. ವಿಜ್ಞಾನದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಆಧಾರಭೂತವಾದ ಪ್ರಯೋಗ ಮತ್ತು ಅಳತೆ ಎಂಬ ಎರಡು ಪ್ರಧಾನ ಅಂಗಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿಯೇ ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್‌ತತ್ತ್ವವು ಸಂಶಯವನ್ನು ಉಂಟುಮಾಡಿದೆ. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಹೇಳುವುದಾದರೆ, ಇವುಗಳ ನಿರ್ದಿಷ್ಟತೆಗೆ ಒಂದು ಮಿತಿಯಿದೆ. ಆ ಮಿತಿ

ಯನ್ನು ಮೀರಲು ಪ್ರಕೃತಿಯು ಸಹಿಸದು. ಸ್ಥಾನನಿರ್ದೇಶನ ಮತ್ತು ಚಲನ ಪ್ರಮಾಣಗಳು ಏಕಕಾಲದಲ್ಲಿ ಒಂದೇ ನಿಖರತೆಯನ್ನು ಹೊಂದಲು ಪ್ರಕೃತಿಯಲ್ಲಿ ಅವಕಾಶವಿಲ್ಲ, ಅಂದರೆ ಕಾರ್ಯಕಾರಣ ಕರ್ತೃತ್ವದ ನಿಯಮ (causality) ವನ್ನು ಕೈಬಿಡುವಂತಾಗಿದೆಯೆಂದು ಕೆಲವರ ಅಭಿಪ್ರಾಯ. ಆದರೆ, ಈ ಸಮಸ್ಯೆಯು ಅಷ್ಟು ಸುಲಭವಾದುದಲ್ಲ. ಇಂಗ್ಲಿಷ್ ಪದವಾದ ಕಾರಣ (Reason)ಕ್ಕೆ ಸುಮಾರು 64 ನಿಘಂಟು ಅರ್ಥಗಳಿವೆಯಂತೆ!

ಆದುದರಿಂದ, ನಾವು ವಿಜ್ಞಾನದ ಮೂಲಧ್ಯೇಯವನ್ನು ಮರೆತು ಗಡಿದಾಟಿ ತತ್ತ್ವಜ್ಞಾನದ ಕಡೆಗೆ ಗಮನವನ್ನು ಹರಿಸುವುದು ಸೂಕ್ತವಾಗಲಾರದು, ಆದರೂ, ವಿಜ್ಞಾನದ ಸಂಶೋಧನೆಗಳಿಗೆ ಒಂದು ಪರಿಮಿತವ್ಯಾಪ್ತಿಯಿದೆ ಎಂದು ಮರೆಯಲಾಗದು. ಅದರ ತಳಹದಿಯೇ ಪ್ರಯೋಗಗಳು, ಅಳತೆ ಮತ್ತು ಸಮೀಕ್ಷೆಗಳು, ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ತತ್ತ್ವವಾದರೂ ಏನನ್ನು ತಿಳಿಸುತ್ತದೆ? ಸ್ಥಾನ ನಿರ್ದೇಶನ ಮತ್ತು ಆವೇಗ ನಿರ್ದೇಶನಗಳ ನಿಖರತೆಯಲ್ಲಿ ಅಸ್ಪಷ್ಟತೆಗಳು ವಿಲೋಮವಾಗಿದ್ದು ಅವುಗಳ ಗುಣಲಬ್ಧವು h ಎಂಬ ನಿಯತಾಂಕವಾಗಿರುತ್ತದೆ. ಇದರಲ್ಲಿ h ಎಂಬ ಪ್ಲಾಂಕ್ ನಿಯತಾಂಕವು ಒಂದು ಪ್ರಧಾನ ಪಾತ್ರವನ್ನು ವಹಿಸುವುದರ ಮೂಲಕ, ಒಂದು ಸೂತ್ರದ ನಿರ್ದಿಷ್ಟತೆಯು ಕಲ್ಪಿಸಿದಂತಾಗಿದೆ. ತತ್ತ್ವಜ್ಞಾನದಲ್ಲಿ ವಿಚಾರಮಾಡುವ ವಿಷಯಗಳು ಈ ವಿಧವಾದಪ್ರಯೋಗಗಳಿಗೂ, ಅಳತೆಗಳಿಗೂ ಒಳಪಡಲಾರವು. ಆದ್ದರಿಂದ ಅವುಗಳ ವಿಷಯದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನವು ವಿಮರ್ಶೆಮಾಡುವ ಅಧಿಕಾರವನ್ನೂ ಹೊಂದಿರುವುದಿಲ್ಲ. ಹಾಗೆ ಅದನ್ನು ವಹಿಸಿಕೊಳ್ಳಲು ವಿಜ್ಞಾನವು ಸಿದ್ಧವೂ ಇಲ್ಲ.

ಇಡೀ ಮಾನವನ ಜೀವನದಲ್ಲಿ ವಿಜ್ಞಾನಕ್ಕೆ ಒಳಪಡುವ ವಿಷಯಗಳೂ, ಅದರ ವ್ಯಾಪ್ತಿಗೆ ಒಳಗಾಗದ ವಿಚಾರಗಳೂ ಸೇರಿಕೊಂಡಿವೆ – ಸಮಗ್ರ ಬೆಳವಣಿಗೆಗೆ ಇವುಗಳೆರಡರ ಅರಿವೂ ಮಾನವನಿಗೆ ಅವಶ್ಯಕ. ಇವುಗಳಲ್ಲಿ ಯಾವುದು ಪ್ರಧಾನ, ಯಾವುದು ಅಪ್ರಧಾನ ಎಂಬ ಪ್ರಶ್ನೆಯು ಅಪ್ರಕೃತ. ಒಂದು ದೃಷ್ಟಿಯಿಂದ ನೋಡಿದರೆ, ಇವುಗಳು ಎರಡೂ ಪೂರಕಗಳು (complementary) – ಹಾಗಾಗಿ ಅವುಗಳಿಗೆ ಹೈಸನ್‌ಬರ್ಗ್ ಪ್ರತಿಪಾದಿಸಿರುವ ಅನಿಶ್ಚಿತತ್ತ್ವದ ವ್ಯಾಪ್ತಿಯಿದೆ ಎಂದು ಹೇಳಿದರೂ ತಪ್ಪಾಗಲಾರದು. ಒಟ್ಟಿನಲ್ಲಿ ಮಾನವನ ಬಾಳಿಗೆ ಎರಡು ದೃಷ್ಟಿಗಳೂ ಅವಶ್ಯಕ.

ನಾವೆಲ್ಲರೂ, ಈ ಜೀವನದ ನಾಟಕದಲ್ಲಿ ವೀಕ್ಷಕರೂ ಹೌದು, ಪಾತ್ರಧಾರಿಗಳೂ ಹೌದು, ಷೆರಿಂಗ್ಟನ್ ಎಂಬ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ದೇಹ ವಿಜ್ಞಾನಿಯು ಹೀಗೆ ಹೇಳುತ್ತಾನೆ. "ನಾವು, ಮನುಷ್ಯರಾಗಿರುವುದರಿಂದ, ಮತ್ತೊಬ್ಬರಮೇಲೆ ಹೊರಿಸಲಾಗದ ಒಂದು

ಹೊಣೆಗಾರಿಕೆಯ ಹಕ್ಕನ್ನು ಪಡೆದಿದ್ದೇವೆ – ಇದನ್ನು ನಾವೆಲ್ಲರೂ ನಮ್ಮ ಮೂಲಕವೇ ಬಗೆಹರಿಸಿಕೊಳ್ಳಬೇಕು."

ಕೊನೆಯಲ್ಲಿ, ಜರ್ಮನ್ ಪ್ರಸಿದ್ಧ ಜ್ಞಾನಿಯಾದ ಗಯ್‌ಥೆ (Guethe) ಹೇಳಿರುವುದನ್ನು ಸ್ಮರಿಸಬಹುದು. "ಯೋಚನಾಪರನಾದ ಮಾನವನಿಗೆ ಅತ್ಯಂತ ಸುಖಿಯನ್ನಾಗಿ ಮಾಡುವ ಪರಿಸ್ಥಿತಿ ಏನೆಂದರೆ; ಸಂಶೋಧನೆಯ ಮಾರ್ಗಗಳಿಗೆ ಒಳಗಾಗಿರುವ ವಿಚಾರವನ್ನು ಕಂಡುಹಿಡಿಯುವುದು ಮತ್ತು ಅಂಥ ಮಾರ್ಗಗಳಿಗೆ ಅವಕಾಶವಿಲ್ಲದ ವಿಷಯಗಳನ್ನು ಏಕಾಂತದಲ್ಲಿ ಭಕ್ತಿಪೂರ್ವಕವಾಗಿ ಚಿಂತನೆ ಮಾಡುವುದು".

ಅನುಬಂಧ

ಅನುಬಂಧ

ಶಬ್ದಕೋಶ

ಅಣು Molecule
ಅವ್ಯತ್ಯಸ್ತ Invariant
ಅಮೂರ್ತ Abstract
ಅಶುದ್ಧತೆ Impurity
ಅನುಪಾತ Ratio
ಅವಿಚ್ಛಿನ್ನ Continuous
ಅವಕಲನ Differentiation
ಅಯನೀಕರಣ Ionization
ಅನುರಣನ Resonance
ಆಧುನಿಕ Modern
ಆಘಾತ Impulse
ಆಂದೋಳನ Oscillation
ಉಷ್ಣ Heat
ಉಪಕರಣ Apparatus
ಉಷ್ಣಬಲಕ್ರಿಯಾಶಾಸ್ತ್ರ Thermodynamics
ಉಜ್ವಲ Incandescent
ಋಣ Negative
ಉತ್ಪನ್ನ Product
ಉತ್ಪನ್ನಶಕ್ತಿ Out-put
ಉದ್ರೇಕಸ್ಥಿತಿ Excited state
ಉತ್ಕಟ Critical
ಆಂದೋಲನ ಲೇಖಕ ಉಪಕರಣ Oscillograph

ಅರ್ಧವಾಹಕ Semiconductor
ಆವೇಗ Momentum
ಕಲನಶಾಸ್ತ್ರ Calculus
ಕಾಂತಶಕ್ತಿ Magnetism
ಕಪ್ಪುಪದಾರ್ಥ Black body
ಕೋಶ Cell
ಕವಚ Shell
ಕಾಂತಕ್ಷೇತ್ರ Magnetic field
ಕೋನೀಯ ಆವೇಗ Angular momentum
ಅನಿಶ್ಚಿತತೆ Indeterminacy
ಅಶುದ್ಧತೆ Impurity
ಗುರುತ್ವಾಕರ್ಷಣೆ Gravitation
ಕಂಪನಸಂಖ್ಯೆ Frequency of vibration
ಚಲನಶಾಸ್ತ್ರ Mechanics
ಚಲನ ಪ್ರಮಾಣ Momentum
ಜಡತ್ವ Inertia
ಜಡಾಂಶ Mass
ಜಾಲರಿ Grating
ಜಾಲಕ Lattice
ಚಲನಶಕ್ತಿ Kinetic energy
ಜಾಡು Track

ಪಲ್ಲಟ Displacement
ಪರ್ಯಾಯ Alternate
ಪ್ರಚ್ಛನ್ನ Potential
ಪ್ರಚ್ಛನ್ನಾಂತರ (ವಿಭವ) Potential difference
ಫಲಕ Plate
ಪ್ರದೀಪ್ತಿ Fluorescence
ಪರಿವರ್ತನ Transformation (Transmutation)
ಬಲ Force
ಬುದ್ಬುದ Bubble
ಬಿಲ್ಲೆ Disc
ತಂತು Filament
ದ್ಯುತಿ Light
ದ್ಯುತಿ-ವಿದ್ಯುತ್ ಕ್ರಿಯೆ Photo-electric effect
ದ್ಯುತಿ ವ್ಯತಿಕರಣ Interference of Light
ದ್ಯುತಿ-ನಮನ Diffraction of Light
ದ್ಯುತಿ-ಧ್ರುವಣ Polarization of Light
ದ್ಯುತಿ-ವರ್ಧಕ Amplifier
ಧನ Positive
ದ್ವಿ ಧ್ರುವನಾಳಿಕೆ Diode
ತ್ರಿ ಧ್ರುವನಾಳಿಕೆ Triode
ಪ್ರಮೇಯ Theorem
ಪರಮಾಣು Atom
ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ Atomic Number
ಪರಮಾಣು ತೂಕ Atomic Weight
ಪರಮಾಣು ಬೀಜ Atomic Nucleus
ಪರಮಾಣು-ವಿದಲನ Atomic Fission
ಪರಮಾಣು-ಸಂಯೋಜನೆ Fusion
ಮೂರ್ತ Concrete
ತರಂಗಾಂತರ Wave-length
ತೈಲಬಿಂದು Oil-drop
ಫಲನ Function
ಫಲಿತ Resultant
ಮೌಲ್ಯ Value
ಮೊತ್ತ (ಶಕಲ) Quantum
ಪ್ರಧಾನ Primary
ದ್ವಿತೀಯ Secondary
ನಿರಪೇಕ್ಷಕ Absolute
ತಾಪ (ಉಷ್ಣಾಂಶ) Temperature
ಪರಾಮರ್ಶಕಟ್ಟು Frame of Reference
ದ್ವಿಮುಖ ಪ್ರವೃತ್ತಿ Duality
ದ್ರವಬಲ ಶಾಸ್ತ್ರ Hydrodynamics
ನವೋದಯ Renaissance
ಪಥ (ಕಕ್ಷೆ) Orbit
ನಿಯತ್ವನಿಯಮ Law of Conservation
ಮಧ್ಯವರ್ತಿ Medium
ಪೂರಕ Complementary
ಬಂಧನ Bond
ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ Binding energy
ಮುಕ್ತ Free
ದತ್ತಶಕ್ತಿ Input
ದಕ್ಷತೆ Efficiency
ಪರಿಮಾಣ Dimension
ಭ್ರಮಣ Spin
ತರಂಗಮುಖ Wave-front

ಪ್ರಕ್ಷೇಪ Projection
ದ್ರವ್ಯ Matter
ಮಹತ್ವ Moment
ದ್ರವ್ಯಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ Mass-Number
ಪರಮಾಣುಬೀಜಕಾರಿ Nuclear Reactor
ನಿಯತಾಂಕ Constant
ಶೀತಕ Coolant
ಧಾತು Element
ಮೇಘಮಂಡಲ Cloud-chamber
ಬುದ್ಬುದಮಂಡಲ Bubble-chamber
ತಂತಿ-ಉರುಳಿಯಕಾಂತ Solenoid
ಶೋಧಕ Filter
ಬಹಿಷ್ಕರಣತತ್ವ Exclusion Principle
ಲಾಕ್ಷಣಿಕ Characteristic
ವಿದ್ಯುತ್-ಶಕ್ತಿ Electricity
ವಿದ್ಯುತ್-ಪ್ರವಾಹ Electric current
ವಿದ್ಯುತ್ಮಾಪಕ Galvanometer
ವಿದ್ಯುತ್-ಪ್ರವಾಹ ಮಾಪಕ Ammeter
ವಿದ್ಯುತ್-ರೋಧ Electrical Resistance
ನಿಯತಾಂಕ Constant
ಸರಾಸರಿ Average
ಅನುರಣನ Resonance
ಕ್ಷಯಿಸು Degenerate
ಶ್ರೇಣಿ Series
ಉತ್ಕಟ Critical
ತರಂಗಮುಖ Wave-front
ಪಥ Orbit
ಕವಚ Shell

ಭ್ರಮಣ Spin
ಕಾಂತೀಯ ಮಹತ್ವ Magnetic Moment
ಬಹಿಷ್ಕರಣ Exclusion
ಫಲಿತ Resultant
ಪರಮಾಣು ಸಂಖ್ಯೆ Atomic Number
ಪರಮಾಣು ತೂಕ Atomic Weight
ಮುಕ್ತ Free
ಬಂಧಿತ Bound
ಬಂಧನ Bond
ಬಂಧಕಶಕ್ತಿ Binding energy
ಅಣು Molecule
ಸಹ ಸಂಯೋಜಕ ಬಂಧನ Co-valent Bond
ಸಂಯೋಜಕ ಸಾಮರ್ಥ್ಯ Valency
ಸಂಸಕ್ತತೆ Cohesion
ಶೋಧಕ Filter
ಸಮಯಸಾಧಕ Empirical
ದ್ರವ್ಯ Matter
ಉತ್ಪನ್ನ Product
ಧಾತು Element
ಜಾಡು Track
ದ್ರವ್ಯಾಂಶಸಂಖ್ಯೆ Mass number
ವಿಶ್ವಕಿರಣ Cosmic Ray
ಅಂಟುಬಿಲ್ಲೆ Wafer
ಸದೃಶ ಸ್ಥಿರಸ್ಥಿತಿ Meta-stable state
ಸಮಯ Instant
ತಂತಿ-ಉರುಳಿಯ ಕಾಂತ Solenoid
ಅತಿತಾಪನ Super-heating
ಪರಿಮಾಣ Dimension

ಬಂಧನ ಮುಕ್ತಿ Dissociation
ಕೋನೀಯ ಆವೇಗ Angular momentum
ಕಾಂತಿ-ಪ್ರಭೆ ತೀವ್ರತೆ Intensity
ಅಶುದ್ಧತೆ Impurity
ಅನಿಶ್ಚಿತತೆ Indeterminacy
ಕಾರ್ಯಕಾರಣ ಕರ್ತೃತ್ವ Causality
ಜಾಲಕ Lattice
ಜಾಲರಿ grating
ಪ್ರಕ್ಷೇಪ Projection
ಸಾವಯವ Organic
ದಕ್ಷತೆ Efficiency
ಉತ್ಪನ್ನಶಕ್ತಿ output (energy)
ಉದ್ರೇಕಸ್ಥಿತಿ Excited State

ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ ಕುರಿತ ಇತರ ಪುಸ್ತಕಗಳು

1.	ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ	ಬಿ. ವಿ. ನಾರಾಯಣರಾವ್
2.	ಸಾಮಾನ್ಯ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ ಮತ್ತು ಜಡವಸ್ತುವಿನ ಗುಣಗಳು	ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್
3.	ಧ್ವನಿ ಮತ್ತು ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ	ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್
4.	ದೃಢಚಲನೆ	ಜಿ. ಟಿ. ನಾರಾಯಣರಾವ್
5.	ಪ್ರಾಯೋಗಿಕ ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ	ಬಿ. ವಿ. ನಾರಾಯಣರಾವ್
6.	ಭೌತವಿಜ್ಞಾನ	ವಿ. ಚೆಲುವರಾಜ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್
7.	ಭೌತಶಾಸ್ತ್ರ	ಹೆಚ್. ಡಿ. ಸಿದ್ದರಂಗಪ್ಪ
8.	ಪರಮಾಣು ಮತ್ತು ಅದರ ರಚನೆ	ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್
9.	ಪರಮಾಣು ಕೇಂದ್ರ ಮತ್ತು ಅದರ ಶಕ್ತಿ	ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್
10.	ಕ್ವಾಂಟಮ್ ಚಲನ ಶಾಸ್ತ್ರ	ಹೆಚ್. ವಿ. ಶ್ರೀರಂಗರಾಜು
11.	ಉಷ್ಣ ಮತ್ತು ಉಷ್ಣ ಬಲಕ್ರಿಯಾ ಶಾಸ್ತ್ರ	ಕೆ. ಶೇಷಾದ್ರಿ ಅಯ್ಯಂಗಾರ್